



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

I comparti forestale e di prima trasformazione del legno

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

I comparti forestale e di prima trasformazione del legno / C. Fagarazzi; I. Bernetti; S. Sacchelli; C. Ciampi. - STAMPA. - (2009), pp. 43-76.

Availability:

This version is available at: 2158/374172 since:

Publisher:

ARSIA - Regione Toscana

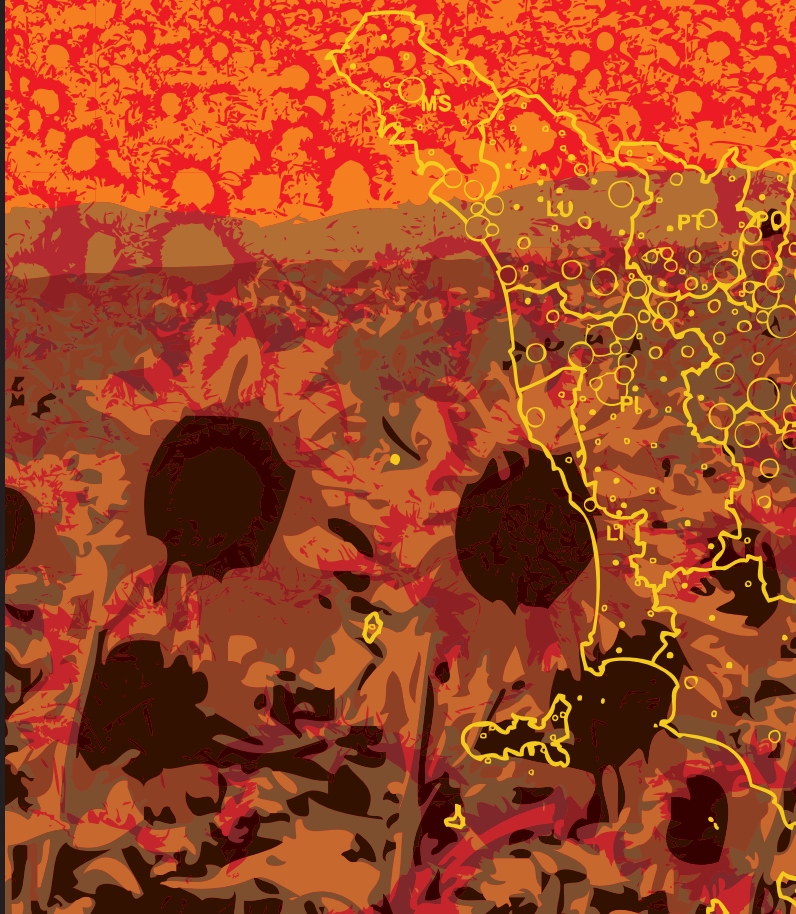
Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)



aisla

Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana

● Manuale





Agenzia Regionale per lo Sviluppo
e l'Innovazione nel Settore Agricolo-Forestale
via Pietrapiana, 30 - 50121 Firenze
tel. 055 27551 - fax 055 2755216/2755231
www.arsia.toscana.it
email: posta@arsia.toscana.it

Con il cofinanziamento
del Programma Biocombustibili (ProBio) – MIPAAF



Direzione Generale Sviluppo
Rurale, Infrastrutture e Servizi



CREAR - Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie
Alternative e Rinnovabili - Università di Firenze



CRIBE - Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da
Energia - Università di Pisa, Scuola Superiore Sant'Anna

Coordinamento della pubblicazione:

Tiziana Mazzei, Gianfranco Nocentini - ARSIA

Le immagini contenute nella pubblicazione provengono
dagli Autori e dall'archivio ARSIA.

Autori

- Iacopo Bernetti
 - Claudio Fagarazzi
 - Sandro Sacchelli
 - Christian Ciampi
- CREAR - Centro interdipartimentale di Ricerca
per le Energie Alternative e Rinnovabili*

- Giorgio Ragolini
 - Ricardo Villani
 - Federico Triana
 - Cristiano Tozzini
 - Enrico Bonari
- CRIBE - Centro di Ricerca Interuniversitario
in Biomasse da Energia*

Ringraziamenti

Si ringrazia la Direzione Generale dello Sviluppo
Economico della Regione Toscana per la supervisione
del progetto e per l'attività di raccordo condotta con il
Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
nell'ambito del Programma Biocombustibili (ProBio),
in particolare Giovanni Vignozzi, Bruno Ciucchi
ed Elisabetta Gravano del Settore Programmazione
Forestale, Stefano Barzagli e Luciano Zoppi
del Settore Produzioni agricole vegetali.
Si ringrazia, inoltre, Giorgio Coradeschi dell'Ufficio
Statistica della Camera di Commercio, Industria,
Artigianato e Agricoltura di Pisa, per l'estrazione dei dati
e la preparazione del database sulle aziende del settore
agroindustriale presenti nell'Archivio Stockview delle
Camere di Commercio toscane.

Fuori commercio, vietata la vendita

ISBN 978-88-8295-109-2

© Copyright 2009 ARSIA Regione Toscana

Cura redazionale, grafica e impaginazione:

© LCD srl, Firenze

Stampa: Press Service srl, Sesto Fiorentino (FI)



Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana

Lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili nel corso di questi ultimi anni ha assunto sempre più importanza. Nel 1997, la Conferenza di Kyoto segnò una svolta a livello mondiale e sottolineò la necessità di tagliare le emissioni di gas-serra, migliorando nello stesso tempo le tecnologie per la riduzione di queste sostanze nocive per l'ambiente.

Un ulteriore forte impulso è arrivato dall'Unione Europea nel 2008, con l'approvazione del pacchetto per il clima e l'energia. Gli obiettivi europei puntano a un grande sviluppo delle fonti rinnovabili e stabiliscono tre traguardi da raggiungere entro il 2020: -20% di emissioni di gas serra; +20% di energia prodotta da fonti rinnovabili; -20% di consumi energetici.

Per contribuire al raggiungimento di questi obiettivi, la Toscana ha accettato la sfida e l'invito del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali: raccogliere dati e informazioni sulle risorse energetiche ricavabili dalle biomasse provenienti dai settori agricolo e forestale e i relativi impianti presenti sul territorio.

La nostra regione è conosciuta per le sue ricchezze artistiche e culturali, ma anche per la grande estensione di boschi e per il suo patrimonio agricolo. Le foreste occupano più del 50% del territorio e fanno della Toscana la regione più boscosa d'Italia, con oltre un milione di ettari ricoperti da foreste. Altrettanto importante è il ruolo dell'agricoltura, che negli ultimi anni sta ricoprendo sempre più un ruolo multifunzionale, con una crescente presenza di produzioni non alimentari. Il sistema agroforestale regionale ha quindi grandi potenzialità e può rappresentare la fonte principale per la produzione di biomasse. Gran parte di questa biomassa proviene da "sottoprodotti" degli utilizzi forestali o dalle potature e da altri residui agricoli.

Il Piano di Indirizzo Energetico Regionale (PIER) individua proprio nelle biomasse di provenienza agroforestale un'importante fonte di produzione energetica. L'utilizzo delle biomasse deve avvenire in un'ottica di valorizzazione di residui, con criteri di sostenibilità ambientale, economica e sociale, riconoscendo il valore aggiunto di quei materiali, che altrimenti non avrebbero mercato o valore economico. In questo senso è importante sostenere le filiere locali di produzione di energia, che possono garantire un ritorno economico positivo per i territori collinari e montani della regione.

Per tutti questi motivi, l'indagine sui bacini agroenergetici ha riscosso grande interesse e la presentazione di questo volume rappresenta un importante risultato del lavoro svolto, nell'ambito del Programma nazionale Biocombustibili (PROBIO-MIPAAF), dalla Giunta regionale e da ARSIA - Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale, con il supporto scientifico del Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili (CREAR) per il comparto forestale e del Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia (CRIBE) per il comparto agricolo.

Questo studio rappresenta un utile strumento per definire le dimensioni degli impianti che, in funzione del biocombustibile disponibile, rispondano a criteri di sostenibilità ambientale ed economica. I dati sono stati raccolti a livello comunale e, di conseguenza, è da oggi possibile stimare le potenzialità agrienergetiche in termini agricoli e forestali di tutta la regione.

Lo scopo di questo volume è quello di far conoscere a tutti gli operatori del settore le potenzialità agrienergetiche presenti sul territorio, contribuendo così allo sviluppo delle energie rinnovabili in Toscana.

Claudio Martini
Presidente Regione Toscana

L'attualità e l'importanza del settore delle agrienergie nelle politiche europee, nazionali e regionali impone un momento di riflessione sulla disponibilità delle risorse agrienergetiche e sulla loro utilizzazione in un quadro di sostenibilità ambientale, dal quale è impossibile prescindere.

In questo contesto si colloca la pubblicazione di questo manuale ARSIA, in cui sono riportati i risultati finali del progetto "Bacini agroenergetici: stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana", attuato dall'ARSIA su indicazione della Regione Toscana attraverso il finanziamento da parte del Programma Biocombustibili (PROBIO) del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

Per la realizzazione dell'indagine territoriale l'Agenzia si è avvalsa del supporto scientifico di due strutture di ricerca toscane: il Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia di Pisa per la valutazione delle biomasse agricole e il Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili di Firenze per la quantificazione delle biomasse forestali e della potenzialità energetica complessiva.

Dal punto di vista metodologico la stima della potenzialità del settore agroforestale in termini energetici ha preso in esame prioritariamente la valorizzazione delle biomasse già disponibili nel territorio (residui delle produzioni agricole, delle attività forestali, della zootecnia, dell'agroindustria e della prima trasformazione del legno) e secondariamente la possibilità di introdurre nel territorio regionale, sempre in un quadro di sostenibilità

ambientale e di salvaguardia del paesaggio toscano, colture dedicate a scopo energetico per la costruzione di tre possibili filiere energetiche: la filiera dei biocombustibili solidi, quella del biogas e quella dei biocarburanti.

Il Manuale *Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana*, fornisce un quadro aggiornato delle risorse disponibili, proprio quando forte è la richiesta, da parte degli operatori agroforestali, dei tecnici, delle Amministrazioni locali e della Regione Toscana, di conoscere le concrete possibilità di sviluppo del settore, attraverso l'acquisizione di dati e informazioni ritenute ormai indispensabili per l'attivazione di specifici strumenti di finanziamento e per una corretta pianificazione del comparto a livello territoriale. Ciò anche in considerazione delle normative nazionali di riferimento che riconoscono all'imprenditore agricolo la produzione e la vendita di energia elettrica e termica ottenuta da fonti rinnovabili agroforestali e fotovoltaiche, nonché la produzione e cessione di biocarburanti, come attività connesse ai sensi dell'art. 2135 del Codice Civile, e pertanto produttive di reddito agrario. Lo sviluppo delle agrienergie può pertanto giocare un ruolo importante sia per la riduzione dell'uso dei combustibili fossili sia come fonte di occupazione e sviluppo per il territorio rurale. Destinatari della pubblicazione sono le istituzioni scientifiche, i tecnici, le pubbliche Amministrazioni, le organizzazioni professionali agricole, le aziende agricole e in generale tutti gli operatori del settore.

Maria Grazia Mammuccini
Direttore ARSIA

Sommario

1. I comparti agricolo e agroindustriale

Giorgio Ragaglini, Ricardo Villani, Federico Triana, Cristiano Tozzini, Enrico Bonari

CRIBE - Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia

11

1.1	Introduzione	11
1.2	Metodologia	13
1.2.1	Caratterizzazione del comparto agricolo, zootecnico e agroindustriale nel 2007	13
1.2.2	Stima dei prodotti e sottoprodotti a scopo energetico	14
1.2.3	Stima della biomassa potenziale da colture dedicate	15
1.3	Assetto del comparto agricolo, zootecnico e agroindustriale nel 2007	24
1.3.1	Il comparto agricolo	24
1.3.2	Il comparto zootecnico	28
1.3.3	Il comparto agroindustriale	30
1.4	Ipotesi di produzione delle agroenergie nel 2013	32
1.4.1	Filiere delle biomasse lignocellulosiche	32
1.4.2	La filiera dei biocarburanti	36
1.4.3	Ipotesi di sfruttamento dei reflui zootecnici e dei residui delle coltivazioni ortive	38
1.4.4	Ipotesi di sfruttamento delle biomasse residue agroindustriali	40

2. I comparti forestale e di prima trasformazione del legno

Iacopo Bernetti, Claudio Fagarazzi, Sandro Sacchelli, Christian Ciampi

CREAR - Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili

43

2.1	Introduzione	43
2.2	Metodologia	43
2.3	Produttività di residui generati dalle formazioni forestali	44
2.3.1	Modellizzazione dell'offerta per unità di superficie di risorse forestali	45
2.3.2	Definizione della produttività e della ripartizione assortimentale per tipologia forestale	46
2.3.3	Stima dell'offerta aggregata relativa di assortimenti legnosi e valutazione delle superfici utilizzabili	50
2.3.4	Determinazione delle superfici a macchiatico positivo	58
2.4	Valutazione dell'offerta di residui delle formazioni forestali all'anno 2013	60
2.5	Stima della quantità di residui derivanti dalla ripulitura degli alvei fluviali e dalla potatura del verde urbano	63
2.6	Stima della quantità dei residui derivanti dall'industria del legno	65

3. Considerazioni conclusive

Enrico Bonari

CRIBE - Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia

71

Bibliografia

75

Allegati (tabelle riepilogative)

77

1. I comparti agricolo e agroindustriale

Giorgio Ragolini, Ricardo Villani, Federico Triana, Cristiano Tozzini, Enrico Bonari

CRIBE - Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia

1.1 Introduzione

Ad oggi in Toscana è stato riscontrato uno scarso ricorso a biomasse prodotte dai settori agricolo, zootecnico e agroindustriale per la produzione a scala industriale di energia e di biocombustibili. Le piccole installazioni e gli usi domestici sono individuabili e quantificabili solo attraverso apposito censimento, pertanto i dati rilevati a scala regionale, sono risultati insufficienti per stimare la produzione e il consumo di biomasse ad uso energetico nel 2007. Conseguentemente la stima della produzione attesa al 2013 non è basata su uno stato di fatto del settore agrienergetico, ma su ipotesi di sfruttamento delle biomasse potenzialmente producibili nell'ambito territoriale della regione. A tal fine la caratterizzazione dei settori agricolo, zootecnico e agroindustriale al 2007, ha permesso di delineare un quadro di riferimento degli indirizzi produttivi prevalenti e di stimare la capacità produttiva potenziale in termini di biomasse residue e da colture dedicate. Le stime sulle produzioni potenziali di biomasse ad uso energetico prevedibili per il 2013 sono state basate esclusivamente su criteri agronomici e produttivi, considerando soltanto a livello di assunzioni generali gli aspetti sociopolitici e ambientali, e senza prendere a riferimento proiezioni sui consumi energetici e sullo sviluppo economico della regione. L'adozione di tale approccio è stata in parte determinata dalle riscontrate "incertezze" a livello dei mercati nazionali e internazionali dei mezzi tecnici di produzione (tra i quali anche il costo dell'energia) e dei prodotti agroalimentari, che negli ultimi anni hanno fortemente condizionato i settori agricolo e zootecnico, tanto da rendere difficilmente prevedibili anche alcuni effetti che si sono stati riscontrati sui più tradizionali indirizzi produttivi della regione. Dall'altra parte è stata privilegiata la necessità di determinare la capacità

produttiva della regione entro ben definiti limiti di sostenibilità agronomica e ambientale, senza quindi trascurare il primario obiettivo della salvaguardia di importanti risorse quali la fertilità dei suoli, l'acqua, la biodiversità e il paesaggio. È vero infatti che il livello di rinnovabilità delle biomasse è comunque legato al mantenimento di questi elementi, ricordando in maniera banale, ma non del tutto superflua quando si parla di biomasse, che "rinnovabile" non è sinonimo di "inesauribile".

Per la stima del potenziale energetico del comparto agricolo quindi sono state valutate le potenzialità a livello territoriale di 4 filiere agroenergetiche per la produzione di: biodiesel, bioetanolo, biogas e biocombustibili solidi. Dato che una stessa tipologia di biomassa (*fig. 1*), in alcuni casi, può essere destinata alla produzione di più tipi di biocombustibili, la definizione delle filiere si è quindi basata sulle tecnologie di conversione più collaudate e ormai consolidate nel mercato europeo e nazionale, senza tuttavia approfondire gli aspetti relativi alle molteplici soluzioni impiantistiche, che dipendono da fattori non valutabili a questa scala di lavoro.

Al fine di rendere più comprensibili alcuni aspetti della metodologia adottata, di seguito sarà riportata una descrizione sintetica delle 4 filiere agroenergetiche e dei criteri adottati per la loro definizione.

La *filiere dei biocombustibili solidi* si basa sullo sfruttamento di biomassa lignocellulosica, residua delle coltivazioni agrarie o prodotta da colture dedicate, per la conversione in energia elettrica e/o termica attraverso combustione del materiale cippato o in forma densificata (pellet o bricchetto).

Tra i residui agricoli si distinguono biomasse di tipo erbaceo e di tipo legnoso. I residui erbacei forniscono una biomassa dal più basso potere calorifico, ricca in ceneri, eterogenea e difficile da conservare tal quale, ma data la sua versatilità può

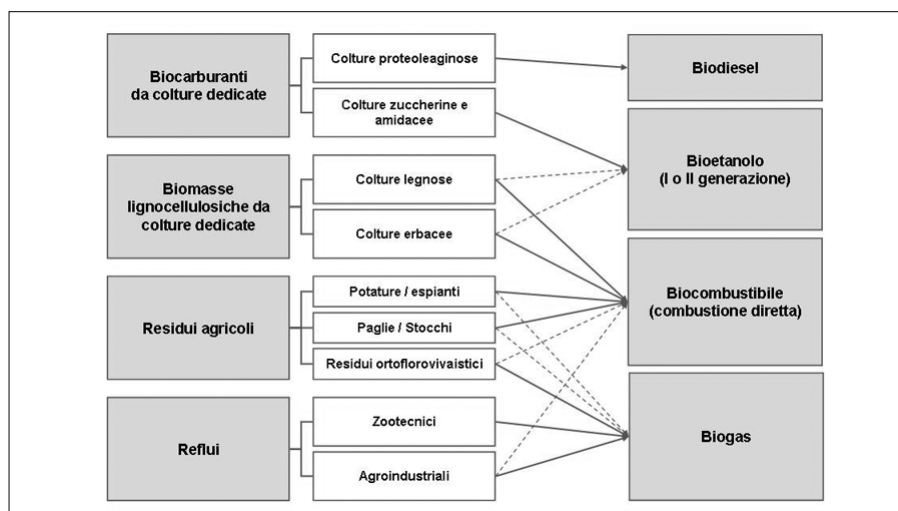


Fig. 1 - Percorsi preferenziali (linea continua) e secondari (linea tratteggiata) di utilizzazione delle varie tipologie di biomassa in base alle diverse filiere agroenergetiche

essere indistintamente indirizzata verso filiere tra loro alternative, utilizzandola sia per la combustione che per la produzione di biogas, attraverso processi fermentativi o di gassificazione. La possibilità di destinarli all'una, piuttosto che all'altra filiera, dipende, oltre che dalle caratteristiche dei residui, anche dalla vocazionalità dei comprensori locali e dalle soluzioni impiantistiche adottate.

Nel caso di materiale più facilmente stoccabile e miscelabile al legno (ad esempio, paglie di cereali autunno-vernini e stocchi di mais) è stato preferito individuarne le opportunità di utilizzo, privilegiando la filiera dei biocombustibili solidi per la combustione diretta. Al contrario per i residui delle colture ortive è stata ipotizzata la conversione in biogas, considerando le difficoltà di conservare il materiale a lungo, se non attraverso l'insilamento.

La biomassa residua di tipo legnoso, date le ottime proprietà calorifiche del legno, è da considerarsi destinabile esclusivamente alla produzione di biocombustibile solido per la combustione diretta, ed è costituita prevalentemente da materiale di potatura e di espanto delle principali colture arboree, tra le quali, nel territorio oggetto di studio, prevalgono l'olivo e la vite.

Le colture dedicate per la produzione di biomassa lignocellulosica sono sia specie erbacee che legnose a rapido accrescimento. Le colture erbacee possono essere ulteriormente classificate in annuali o poliennali e quelle legnose in base al turno di ceduzione. Attualmente nell'area oggetto di studio le colture dedicate da biomassa lignocellulosica non sono ancora coltivate a livello aziendale anche se sono conosciute perché destinate a utilizzi alternativi rispetto a quello energetico o perché appartenenti alla flora spontanea del territorio. Alcune colture dedicate, tra quelle trattate in questo studio, potrebbero essere anche favorevolmente indirizzate alla produzione di bioetanolo di II generazione, secondo processi diversi da quelli previsti

per la produzione di bioetanolo da colture amidacee o zuccherine. Tuttavia, sebbene a livello sperimentale siano stati ottenuti risultati incoraggianti, i processi e le tecnologie attualmente utilizzate per la degradazione di polimeri complessi e amorfi, quali la lignina, le emicellulose e le cellulose, non consentono una conveniente produzione del bioetanolo a scala industriale.

La *filiera del biodiesel* nella regione Toscana attualmente si può basare sulle produzioni di girasole (*Helianthus annuus* L.), colza (*Brassica napus* L.), e altre brassiche più rustiche (ad esempio, *Brassica carinata*) non adatte all'uso alimentare. Per la *filiera del bioetanolo*, sono state considerate solo colture amidacee, quali mais, sorgo da granella, frumento tenero, orzo e altri cereali minori, poiché colture zuccherine come la barbabietola da zucchero sono da tempo sparite dagli avvicendamenti della regione anche a causa degli alti costi di produzione, che non troverebbero una giustificazione neppure ipotizzando un utilizzo energetico del raccolto.

Per quanto la produzione dei biocarburanti sia basata su tecniche di coltivazione ben note e su tecnologie di conversione collaudate, l'opportunità della loro produzione desta comunque alcune perplessità dal punto di vista etico per la competizione che la loro produzione eserciterebbe nei confronti delle colture alimentari, per l'uso dei suoli agrari e per lo sfruttamento delle risorse idriche. Le maggiori perplessità sono state sollevate soprattutto in relazione al possibile impiego dei cereali per la produzione di bioetanolo, proprio per gli effetti negativi che il dirottamento della granella verso un utilizzo alternativo a quello alimentare potrebbe causare sulle economie più deboli. Alle colture oleaginose sono invece contestate le basse rese unitarie, che talvolta ne pregiudicano la convenienza da un punto di vista meramente energetico.

La *filiera del biogas* è basata prevalentemente

sulla conversione dei reflui del settore zootecnico attraverso impianti di digestione anaerobica. Anche i residui di molte specie ortive di pieno campo, là dove ne risultasse conveniente il recupero, e di alcune colture foraggere potrebbero costituire materiale idoneo alla produzione di biogas, come del resto alcune tipologie di reflui umidi del settore agroindustriale (effluenti dei caseifici o fanghi di depurazione). Mentre altre tipologie di reflui, di natura solida (sanse esauste), potrebbero più opportunamente essere destinate alla combustione diretta.

La metodologia descritta nel capitolo successivo è in parte basata su tecniche di analisi dei dati a scala territoriale sviluppate nel corso di alcuni lavori precedenti condotti a scale differenti o in ambiti territoriali diversi da quello oggetto del presente studio¹.

Di seguito saranno comunque descritte in maniera sintetica le metodologie utilizzate per la caratterizzazione dei settori agricolo e zootecnico nel 2007 e per la stima del potenziale massimo delle diverse tipologie di biomassa. Infine per stimare le produzioni di bioenergia nel 2013, nell'ambito delle 4 filiere agroenergetiche, sono stati definiti scenari di produzione basati su ipotesi di sfruttamento sostenibile dei potenziali massimi di biomassa.

1.2 Metodologia

1.2.1 Caratterizzazione del comparto agricolo, zootecnico e agroindustriale nel 2007

La caratterizzazione del comparto agricolo e zootecnico è stata effettuata sulla base dei dati ISTAT. In particolare per quanto riguarda il settore agricolo sono stati elaborati i dati dal 2004 al 2007 relativi alle superfici coltivate in ogni provincia. Inoltre è stata rappresentata la ripartizione della SAU tra le principali colture agrarie raggruppate in categorie secondo 3 livelli di dettaglio (*tab. 1*), al fine di evidenziare i principali indirizzi produttivi della Regione e le tipologie di colture più interessanti per questo studio.

Nel primo livello sono state distinte le categorie delle colture erbacee, delle colture legnose agrarie e delle foraggere permanenti. Questa distinzione non è stata effettuata secondo un intento tassonomico quanto al fine di mettere in risalto le superfici che possono essere sfruttate per il recupero di residui di tipo legnoso o erbaceo. Le colture erbacee sono state ulteriormente distinte, in base al secondo livello

Tab. 1 - Classificazione delle colture agrarie in categorie secondo tre livelli di dettaglio

Livello 1	Livello 2	Livello 3
Erbacee	Cereali	Frumento duro
		Frumento tenero
		Mais
		Sorgo da granella
		Avena
		Orzo
		Altri
	Colture industriali	Girasole
		Colza
		Altre
Legnose	Ortive di pieno campo	Ortive da frutto
		Ortive da fusto e foglie
		Legumi secchi
		Legumi freschi
		Radici e bulbi
Foraggere permanenti	Foraggere avvicendate	
	Vite	
	Olivo	
	Altri fruttiferi	

¹ BONARI E. ET AL. (2007) - *Progetto pilota sull'impiego delle biomasse ai fini energetici*. Report CCIAA Grosseto.

ENEL (2007) - *Stima delle potenzialità di produzione di biomasse nell'Italia centro occidentale*. Report;

RAGAGLINI G., VILLANI R., GUIDI W., BONARI E. (2008) - *Bioenergy production assessment at regional level under different scenarios of resources exploitation*. Aspects of Applied Biology, Biomass and Energy Crops, III: 109-118.



Paglia di cereali



Raccolta meccanizzata delle potature di olivo



Raccolta meccanizzata dei sarmenti di vite

lo di classificazione, in cereali, colture industriali, ortive di pieno campo e foraggiere avvicendate.

Per le diverse categorie infine sono stati elaborati i dati sulle superfici destinate alle colture più diffuse e/o di maggiore interesse economico (*livello 3*).

Per la caratterizzazione del settore zootecnico sono stati utilizzati i dati del censimento ISTAT del 2000, anno dell'ultimo rilevamento dei capi di bestiame raggruppati per categoria di appartenenza e per classi di età (ad esempio, i bovini) o di peso (ad esempio, i suini). Per ogni categoria sono stati applicati i rispettivi coefficienti di calcolo delle UBA (Unità Bovino Adulto). Le UBA sono state utilizzate per rappresentare il settore zootecnico di ogni provincia, e determinare l'incidenza di ogni categoria sul comparto.

1.2.2 Stima dei prodotti e sottoprodotti a scopo energetico

Il comparto agricolo

Per la stima dei quantitativi di biomassa residua mediamente prodotti dall'attività agricola ogni anno, la metodologia adottata si è basata sulla stima delle superfici annue destinate alle principali colture erbacee e arboree della regione e sulle rese medie rilevate.

Nel caso dei biocombustibili solidi da biomasse residue di tipo erbaceo sono stati presi in considerazione soprattutto i cereali autunno-vernini, il mais da granella, il sorgo da granella e il girasole. Mentre per stimare il biogas potenzialmente producibile da residui agricoli, sono state prese in esame le colture ortive di pieno campo. Infine, per la stima dei residui colturali derivanti dalle specie arboree, nel caso della vite e degli altri fruttiferi è stata considerata sia la biomassa derivante dalle potature annuali, sia quella ottenuta dall'espianto a fine ciclo (e ripartita ai fini del mero calcolo matematico per un numero di anni pari alla durata media dell'impianto), mentre per l'olivo, la cui durata dell'impianto è spesso di difficile valutazione e comunque straordinariamente lunga, è stata considerata solo la biomassa proveniente dalle potature annuali.

Per stimare i residui potenziali da colture erbacee sono stati utilizzati i dati produttivi ufficialmente rilevati dalla Regione Toscana per l'ISTAT. Attraverso le rese in prodotto utile e le superfici coltivate, tenendo conto delle caratteristiche agronomiche e dell'*Harvest Index* delle singole specie, è stato possibile stimare la quantità di residui colturali disponibili nel territorio agricolo regionale.

Anche nel caso delle colture arboree la stima è

stata effettuata a partire dai dati delle produzioni e delle superfici riportati dall'ISTAT, utilizzando successivamente alcuni coefficienti (*Allegato 3*) che hanno permesso di stimare i residui potenziali a partire dalla resa unitaria di vite, olivo e altri fruttiferi (ANPA/ONR, 2001).

Poiché i *Dati annuali sulle coltivazioni* dell'ISTAT sono riferiti alla scala provinciale, al fine di ottenere una stima a livello comunale delle superfici e delle produzioni, è stato assunto che le superfici di ciascuna coltura nel 2007 fossero ripartite tra i diversi comuni con le stesse proporzioni del dato rilevato dal *V Censimento generale dell'Agricoltura* del 2000 (ultima data per la quale sono disponibili dati a livello di dettaglio comunale).

Il comparto zootecnico

La stima dei reflui bovini, suini e degli allevamenti avicoli, espressi in tonnellate/anno, si è basata su coefficienti che mettono in relazione il peso vivo dei capi con il quantitativo di effluenti di stalla (D.L. n. 152/1999; D.M. 7 aprile 2006), che nel caso degli allevamenti bovini sono costituiti, oltre che dalle deiezioni e dalle urine degli animali, anche da materiale impiegato per la lettiera, da acque di lavaggio e da residui alimentari.

Data l'estrema variabilità delle caratteristiche qualitative e quantitative dei reflui degli allevamenti, funzione di diversi fattori, tra cui specie, tipo di allevamento, età degli animali, dimensioni dell'allevamento, tipo di stabulazione, materiale eventualmente impiegato per la lettiera e tipo di alimentazione, per la stima è stato fatto riferimento a parametri standard reperiti in bibliografia.

I dati relativi al tipo e al numero di capi sono stati estrapolati dal *V Censimento generale dell'Agricoltura* (Allevamenti: consistenza al 22 ottobre 2000), che costituisce l'ultimo rilevamento a livello comunale e provinciale, in cui sono riportate tutte le categorie di allevamenti, con dettaglio sull'età e la tipologia dei capi. Il peso medio per ciascuna tipologia è stato estrapolato dai "Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento" (D.L. n. 152/1999).

Infine, per la stima della resa media in biogas sono stati utilizzati i coefficienti riportati in letteratura (*Allegato 3*), calcolati su impianti di digestione

anaerobica di taglia medio-piccola, i più diffusi a livello europeo (Piccinini, 2008).

Il comparto agroindustriale

La stima dei residui agroindustriali potenzialmente utilizzabili ai fini energetici è stata effettuata a partire dai quantitativi di prodotto trasformato per tipologia di azienda. Il numero totale di aziende del settore agroindustriale presenti in Toscana al 2008, ripartite per tipologia e per classe di valore della produzione annua, è stato stimato attraverso la consultazione dell'Archivio Stockview delle Camere di Commercio Toscane, reperito presso la Camera di Commercio di Pisa. La quantificazione dei residui dell'agroindustria e del relativo valore energetico è stata condotta in 4 fasi:

1. caratterizzazione del residuo ai fini del riutilizzo energetico: residui umidi per la filiera del biogas e residui solidi per la combustione diretta;
2. individuazione nella letteratura scientifica dei coefficienti per la determinazione dei quantitativi di residui a partire dalla produzione principale (*Allegato 3*);
3. nel caso dei settori lattiero-caseario e della macellazione, la stima dei quantitativi di prodotto principale trasformato è stata effettuata a partire dal valore della produzione di ciascuna azienda e dal prezzo medio all'ingrosso del 2007 delle principali tipologie di prodotti (ISMEA). Nel caso dei settori vinicolo e dell'olio di oliva, poiché il dato sulle cantine e sui frantoi riportato nell'Archivio Stockview non tiene conto delle attività registrate come aziende agricole, i quantitativi di prodotto trasformato sono stati stimati a partire dai dati di produzione a scala comunale² di vino³ e olive (ISTAT, 2007);
4. individuazione nella letteratura scientifica dei coefficienti per la determinazione del valore energetico dei residui (*Allegato 3*).

1.2.3 Stima della biomassa potenziale da colture dedicate

La stima della produzione potenziale di biomassa da colture dedicate è stata effettuata ipotizzando alcuni scenari produttivi, l'attendibilità dei quali è inevitabilmente legata alle effettive possibilità di

² I dati di produzione del 2007 di vino e di olive sono riportati dall'ISTAT a scala provinciale. Al fine di ottenere una stima a livello comunale è stato assunto che le produzioni di vino e olive si distribuiscano a livello comunale nelle stesse proporzioni in cui erano distribuite le superfici di vite ed olivo nel 2000, secondo i dati riportati dal *V Censimento dell'Agricoltura* dell'ISTAT.

³ I dati di produzione di vino in ettolitri (hl) è fornito dall'ISTAT nei *Dati annuali sulle coltivazioni*, 2007.

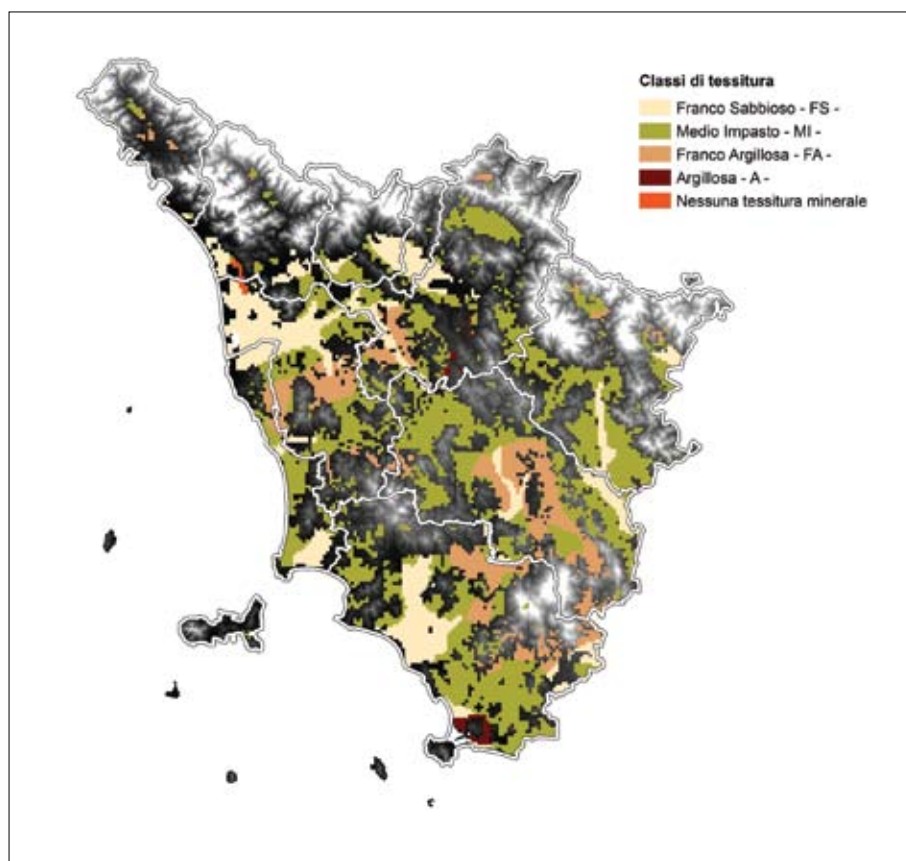


Fig. 2 - Classificazione delle superfici facilmente meccanizzabili secondo classi di tessitura del suolo

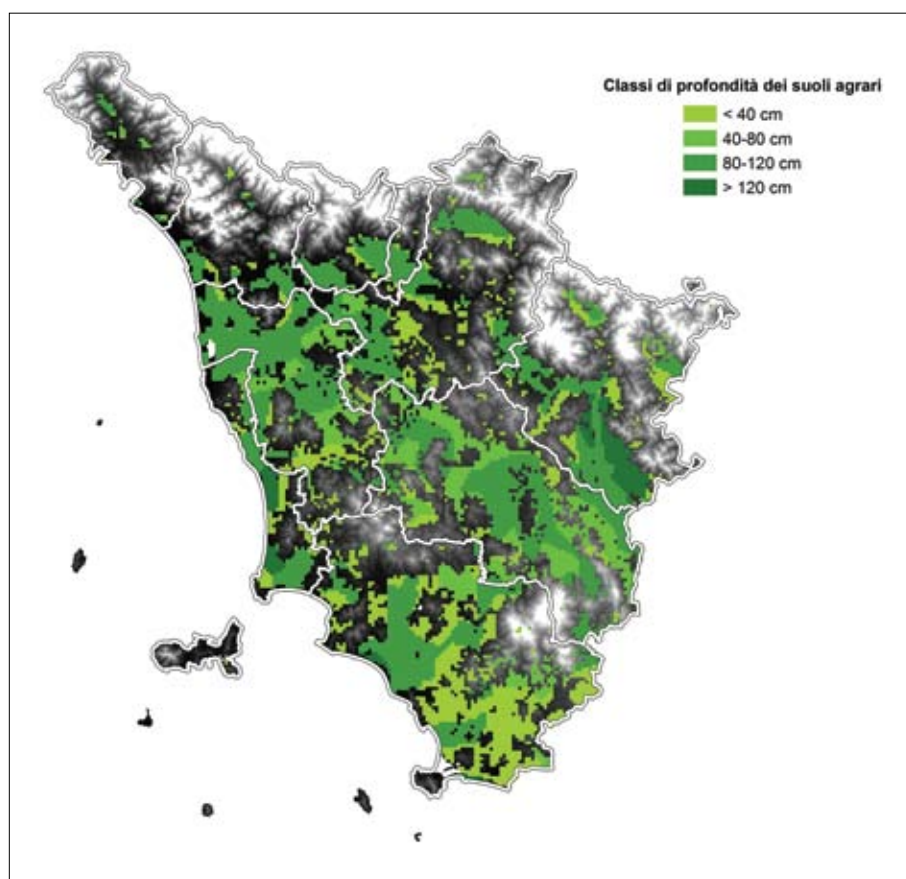
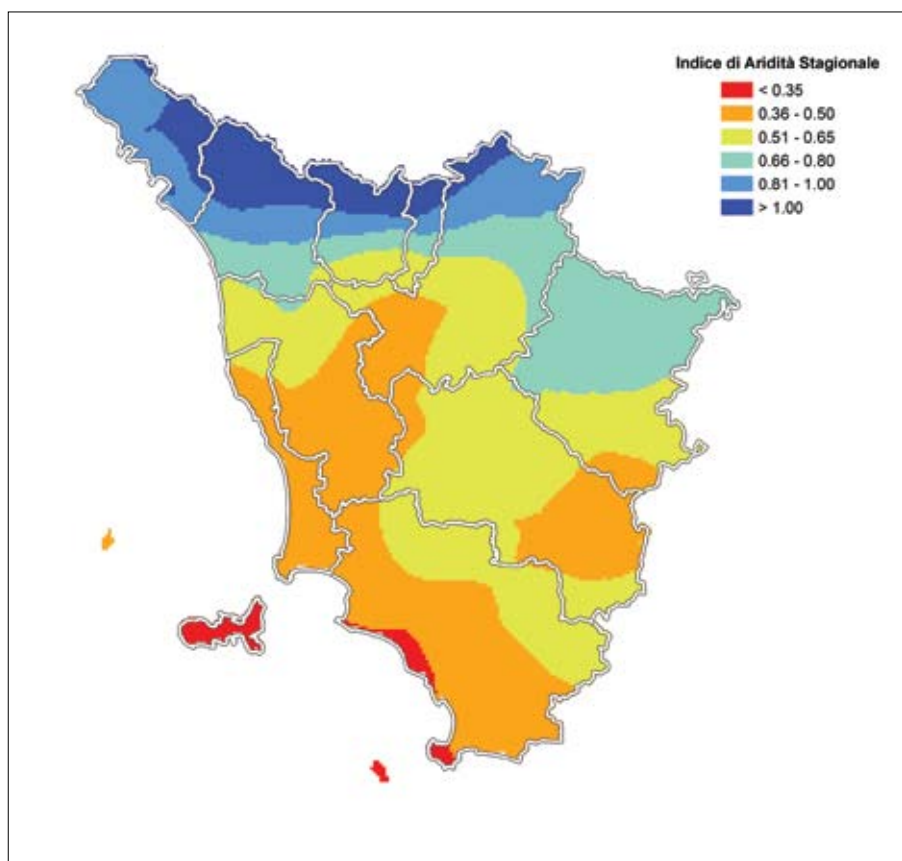


Fig. 3 - Classificazione delle superfici facilmente meccanizzabili secondo classi di profondità del suolo

Fig. 4 - Classificazione del territorio toscano secondo l'indice di aridità stagionale



inserimento delle specie considerate nei contesti produttivi del territorio di riferimento e alle rese medie che queste possono garantire in differenti condizioni ambientali.

La metodologia di stima adottata ha previsto due livelli di indagine: 1) individuazione e stima delle superfici potenzialmente destinabili a ciascuna specie; 2) stima delle rese unitarie medie di ciascuna coltura in diversi contesti pedoclimatici. Alla base dello studio vi è l'analisi della variabilità spaziale di quei fattori agroambientali che, alla scala di riferimento, hanno un effetto diretto e rilevante sulle capacità di adattamento e sulle "prestazioni agronomiche" delle diverse colture. Le analisi sono state condotte in ambiente GIS (ArcMap ESRI 9.2) e PostgreSQL 8.2 e utilizzando metodi di analisi spaziale e interpolazione geostatistica⁴.

Stima delle superfici potenzialmente idonee

Le superfici potenzialmente idonee sono state stimate in due fasi:

1. stima delle superfici facilmente meccanizzabili e quindi più adatte alla coltivazione di colture di carattere industriale che talvolta richiedono tipologie di macchine pesanti poco adatte a lavorare su terreni acclivi, con pendenze medie superiori al 15%;
2. stima delle superfici ricadenti in areali che rispondono da un punto di vista pedoclimatico alle esigenze culturali di ciascuna delle colture considerate.

Tra le superfici agricole con pendenza inferiore al 15% sono state selezionate le classi di seminativi non irrigui (CORINE Land Cover, 2000), ritenute quelle più facilmente convertibili in tempi di breve-medio periodo alla coltivazione di specie da energia. Queste, al fine di individuare le aree più adatte a ciascuna coltura da energia, sono state caratterizzate in merito: *a*) alle classi di tessitura prevalente del suolo, estrapolate dall'European Soil Bureau Dataset del JRC di Ispra (*fig. 2*); *b*) alle classi di profondità del suolo, elaborate dall'European Soil Bureau Dataset del JRC di Ispra (*fig. 3*); *c*) all'indice

⁴ Il metodo geostatistico, *kriging* ordinario, è utilizzato per l'interpolazione spaziale di dati puntiformi: nel caso specifico è stato impiegato per elaborare la mappa dell'indice agroclimatico calcolato per la caratterizzazione climatica della regione a partire dai dati storici delle 130 stazioni meteorologiche del Servizio Agrometeorologico dell'ARSIA (<http://agrometeo.arsia.toscana.it>).



Short Rotation Forestry di pioppo nell'anno di impianto



Canna comune



Cardo

di aridità stagionale, calcolato come il rapporto tra piovosità ed evapotraspirazione potenziale ($IA = P/ETP$) del periodo primaverile estivo (*fig. 4*) a partire da una serie ventennale dei dati giornalieri della rete del Servizio Agrometeorologico dell'ARSIA.

Questi parametri sono stati utilizzati per classificare i seminativi non irrigui secondo livelli di vocazionalità alla coltivazione delle colture da biomassa lignocellulosica e delle colture oleaginose e amidacee per la produzione di biocarburanti.

Prevedendo (o auspicando) una gestione sostenibile delle colture da energia, sono stati definiti due ordini di criteri per determinare gli areali di coltivazione più adatti per ciascuna coltura. Al primo di questi appartengono criteri di tipo ecofisiologico, adottati per determinare la più opportuna associazione tra "classe di vocazionalità" e specie coltivata, assumendo come vincolante la necessità di evitare per queste colture il ricorso all'irrigazione. In effetti è preferibile evitare interventi di irrigazione sistematici, al fine di mantenere bassi i costi di gestione delle colture e soprattutto per evitare il consumo di una risorsa che si ritiene più opportuno destinare ad altri usi. Il secondo ordine di criteri, di tipo prettamente agronomico, considera da un lato i punti di forza e di debolezza delle diverse colture, dal punto di vista tecnico, economico e paesaggistico e dall'altro la necessità di garantire comunque produzioni di biomassa qualitativamente e quantitativamente soddisfacenti. Le colture considerate in questo studio presentano caratteristiche tra loro sensibilmente diverse, tali cioè da consentire lo sfruttamento di un ampio range di condizioni pedoclimatiche e assecondare le possibilità tecniche di diversi livelli di gestione aziendale.

Colture dedicate per la produzione di biomasse solide

Per la filiera dei biocombustibili solidi sono state prese in esame le colture lignocellulosiche che, a seguito degli studi di lungo periodo direttamente condotti presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" (CIRAA) di San Piero a Grado - Pisa (in terreni di media fertilità tipici della bassa valle dell'Arno), sono state considerate le migliori per i nostri ambienti pedoclimatici:

1. Short Rotation Forestry di pioppo (*Populus* spp.)
2. Canna comune (*Arundo donax* L.)
3. Sorgo da fibra (*Sorghum bicolor* L. Moench)
4. Miscanto (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deuter)
5. Cardo (*Cynara cardunculus* L.)

Per queste colture, meno note rispetto a quelle prese in esame nell'ambito delle filiere del biodiesel

**Miscanto****Sorgo da fibra**

e del bioetanolo, poiché ancora poco diffuse a livello aziendale, saranno di seguito riassunti i punti di forza e di debolezza in relazione alla pratica agronomica e al loro impiego finale, mentre per una conoscenza più dettagliata circa la botanica e la pratica agronomica si rimanda alla consultazione di pubblicazioni specifiche (AA.VV., 2004).

Con la definizione *Short Rotation Forestry* si identifica un sistema di gestione di piante arboree su suolo agricolo per la produzione di biomassa legnosa, caratterizzato da alte densità di impianto e ritmi di ceduzione estremamente ridotti rispetto alla comune pratica forestale. Nel caso del pioppo, in ambiente mediterraneo sono state valutati sistemi con densità di impianto tra 7.000 a 10.000 piante/ha e turni di ceduzione che possono variare, proprio in funzione della densità, tra 1 e 3 anni. La SRF di pioppo è in grado di esprimere livelli produttivi interessanti sul piano quantitativo (21,7, 15,1 e 9 t s.s./ha annuali, rispettivamente per il taglio triennale, biennale e annuale), ma il suo principale vantaggio è senz'altro quello di produrre una biomassa di primissima qualità: il contenuto in ceneri e la percentuale di silice sono estremamente ridotti

rispetto alle colture erbacee da energia. La coltura costituisce una buona protezione per il terreno dai fenomeni erosivi e un ottimo rifugio per la fauna selvatica. Il miglioramento genetico condotto negli ultimi anni a livello vivaistico, oltre a consentire l'impiego di materiale vegetale certificato, ha prodotto una gamma di cloni adattabili a diverse condizioni colturali. Di contro, alcune fasi della produzione, la raccolta, lo stoccaggio e la conseguente logistica, devono essere ancora ottimizzate. Rispetto ad alcune colture erbacee (ad esempio, canna e cardo) richiede un maggior numero di interventi sanitari.

Il miscanto è una specie rizomatosa poliennale, che può raggiungere, alle nostre latitudini, livelli produttivi medi annui intorno alle 28,2 t s.s./ha. La biomassa prodotta ha un contenuto in ceneri pari al 2,8%, con una percentuale di silice pari al 56%. La coltura è esigente in termini di disponibilità idriche (soprattutto se confrontato con la canna comune), la meccanizzazione delle operazioni di trapianto non è ancora perfettamente a punto e il ripristino del terreno a fine ciclo è ostacolato dalla vitalità dei rizomi residui.



Impianto della Short Rotation Forestry, trapianto delle talee di pioppo



Raccolta della Short Rotation Forestry di pioppo



Fase di stoccaggio della SRF di pioppo

La canna comune è anch'essa una specie erbacea rizomatosa poliennale. Alle nostre latitudini può raggiungere livelli produttivi medi annui pari a circa 37,4 t s.s./ha con un contenuto in ceneri pari al 5%, delle quali il 44% costituito da silice. È senz'altro la specie da energia più produttiva tra quelle sperimentate nell'ambiente mediterraneo. Mostra grande adattabilità nei confronti dei diversi tipi di terreno e a condizioni climatiche caratterizzate da ridotte precipitazioni. È in grado di mantenere costante ed elevata la sua produttività per molti anni ed è una componente tipica del nostro paesaggio rurale. Protegge il terreno dall'erosione in maniera efficace. Di contro il costo della messa a dimora dei rizomi è ancora molto alto sia per il prezzo dei rizomi stessi (che si ridurrà con il diffondersi di vivai produttori e con lo svilupparsi di tecniche di micropropagazione) che per la non perfetta meccanizzazione di questa operazione. È una specie invasiva ed è necessario il ricorso di interventi di diserbo consistenti per il ripristino delle superfici a fine ciclo.

Il cardo, tra le specie poliennali, ha mostrato, a livello sperimentale, i livelli produttivi più bassi (circa 11,4 t s.s./ha), con una biomassa caratterizzata da un elevato contenuto in ceneri (13,9 %) con percentuali di silice pari al 15%. Ciò nonostante è ritenuta una specie interessante poiché molto rustica, adattabile ad areali con scarse risorse idriche e nutritive, difficili da valorizzare altrimenti. È una coltura facile da propagare per seme e può fornire altri prodotti oltre alla biomassa (ad esempio, semi per l'estrazione di olio).

Il sorgo da fibra è una specie erbacea annuale che negli ambienti litoranei della provincia di Pisa ha raggiunto livelli produttivi medi pari a circa 28,2 t s.s./ha. La biomassa prodotta ha un contenuto in ceneri pari al 5,6%, con un livello di silice intorno al 33,1%. La coltura è interessante poiché si inserisce facilmente negli ordinari avvicendamenti produttivi presenti nelle aziende agrarie della Toscana. L'impiego di questa specie come fonte di biomassa ad uso energetico può essere favorito dalla semplicità delle varie operazioni colturali del tutto analoghe a quelle effettuate per le altre colture erbacee di pieno campo. Inoltre, trattandosi di coltura annuale, non vincola i terreni per più di una stagione. Di contro la sua annualità ne pregiudica la convenienza economica rispetto alle erbacee poliennali, dati i ripetuti costi di preparazione del terreno e di impianto. Problematica è l'individuazione della tecnica più opportuna per la raccolta, che è fortemente condizionata dalle condizioni di umidità della coltura a fine ciclo.

Per ogni coltura sono state valutate: a) le possibilità di adattamento alle condizioni pedoclima-

tiche in situazione di agricoltura non irrigua; *b*) le capacità produttive, in termini non solo quantitativi, ma anche qualitativi, considerando il potere calorifico della biomassa e la produzione di ceneri alla combustione; *c*) l'impatto sul paesaggio; *d*) il possibile gradimento da parte degli agricoltori, influenzabile dalle differenti tecniche di coltivazione, dai costi di impianto, e dal fatto che alcune colture sono state considerate fino ad oggi come piante infestanti (*tab. 2*).

In base alla classificazione dei seminativi e alle caratteristiche delle diverse colture sono stati definiti i criteri per ipotizzare la possibile diffusione delle colture da biomassa lignocellulosica nel territorio regionale (*tab. 3*).

La SRF di pioppo è stata prevista negli areali ritenuti migliori, con terreni franco-sabbiosi o di medio impasto (FS-MI), profondità del suolo > 40 cm e condizioni climatiche al limite sub-umide, IA > 0,35 (*tab. 3*), al fine di privilegiare l'ottimo livello quanti-qualitativo della biomassa producibile, assecondando le sue elevate esigenze dal punto di vista pedologico e climatico (*tab. 2*).

I terreni medio-profondi (> 40 cm) e franco-argillosi (FA), che ricadono nella fascia climatica sub-umida, sono stati ritenuti più adatti al sorgo da fibra, al miscanto e alla canna comune; tra queste si è ritenuto che il sorgo possa avere maggiori probabilità, nel breve periodo, di essere inserito negli ordinamenti colturali aziendali (*tab. 3*). Per miscanto e canna comune è stata prevista una minore probabilità di diffusione, in quanto è stato tenuto conto anche una possibile "diffidenza" da parte degli agricoltori nei confronti delle colture polienali, poiché occupano il terreno per un consistente numero di stagioni agrarie e anche perché possono essere percepite come specie infestanti e invasive. I terreni argillosi (A) della fascia climatica sub-umida sono stati ritenuti più adatti alla coltivazione della canna comune, che data la sua rusticità può garantire rese elevate anche in terreni più ostici (*tab. 3*).

Nella fascia climatica sub-arida (IA ≤ 0,35),



Piantina micropropagata di canna comune



Rizomi di miscanto

Tab. 2 - Valutazione delle colture lignocellulosiche dedicate

Coltura	Esigenze climatiche	Esigenze di suolo	Rese potenziali	Qualità della biomassa	Impatto sul paesaggio	Gradimento da parte degli agricoltori
Pioppo	A	A	M	A	M	M
Miscanto	A	M	M	M	A	B
Sorgo	M	M	M	M	B	A
Canna	M	B	A	M	A	B
Cardo	B	B	B	B	B	A

Legenda: A = Alto; M = Medio; B = Basso.

Tab. 3 - Criteri utilizzati per definire la possibile diffusione nel territorio regionale delle colture da biomassa lignocellulosica

IA	Tessitura	Profondità	Colture
> 0,35	FS - MI	> 40	Pioppo
		< 40	Canna (65%), Cardo (35%)
	FA	> 40	Sorgo (65%), Miscanto (17,5%), Canna (17,5%)
		< 40	Canna (65%), Cardo (35%)
	A	—	Canna
≤ 0,35	FS - MI	> 40	Sorgo var. precoce (50%), Canna (50%)
		< 40	Canna (35%), Cardo (65%)
	FA	> 40	Sorgo var. precoce (65%), Canna (17,5%) e Cardo (17,5%)
		< 40	Canna (35%), Cardo (65%)
	A	—	Canna (35%), Cardo (65%)

invece, i terreni franco-argillosi (FA) di media-alta profondità, sono stati ritenuti più adatti alla canna comune, alle varietà precoci di sorgo, e al cardo; al riguardo, nonostante il cardo sia considerato adattabile a questo specifico contesto pedoclimatico, è stata ipotizzata una sua diffusione più contenuta soprattutto a causa delle basse rese unitarie e per la modesta qualità della biomassa prodotta (*tab. 2*). I terreni franco-sabbiosi o di medio impasto, con profondità > 40 cm, nella medesima fascia climatica, sono stati ritenuti più adatti alla coltivazione della canna comune e delle varietà precoci di sorgo; infine i terreni argillosi sono stati associati alle due specie più rustiche, cardo e canna comune.

In tutti i terreni poco profondi (< 40 cm) sono state ipotizzate le coltivazioni di cardo e canna, privilegiando il primo in condizioni climatiche più aride (IA ≤ 0,35) e la seconda in condizioni climatiche sub-umide o umide (IA > 0,35).

Colture dedicate per la produzione di biodiesel e bioetanolo

Per la filiera del bioetanolo, le colture considerate in questo studio sono, tra i cereali primave-

rili-estivi, il mais e il sorgo da granella coltivati in asciutto, e, tra i cereali autunno-vernini, il frumento tenero e altri cereali minori.

Per la filiera dell'olio vegetale o del biodiesel, il girasole e la colza sono le due colture erbacee, tra le specie oleaginose, ritenute più adatte agli ambienti climatici tipici della regione; tra l'altro, com'è noto, il girasole appartiene alla tradizione agricola dell'area oggetto di studio ed è elemento caratterizzante del paesaggio agrario toscano. Il girasole è una coltura primaverile-estiva, caratterizzata da un ciclo breve che, seminata tra fine febbraio e aprile, raggiunge la maturazione fisiologica già a partire dalla fine di luglio e può essere coltivato anche in condizioni non irrigue. La colza è invece una coltura a ciclo autunno-invernale e potrebbe costituire una valida alternativa al girasole negli ambienti più "aridi", in avvicendamento con i cereali autunno-vernini.

I criteri utilizzati per la definizione degli areali più opportuni alla produzione dei due biocombustibili sono schematicamente riassunti in *tab. 4*. È stato assunto che la filiera del bioetanolo si possa sviluppare nell'ambito di areali favorevoli alla coltivazione in asciutta del mais, caratterizzati da stagioni primaverili-estive con un livello di piogge pari almeno al

Tab. 4 - Criteri utilizzati per definire la possibile diffusione nel territorio regionale delle colture destinate alle filiere del bioetanolo e del biodiesel

IA	Tessitura	Profondità	Colture
> 0,5	FS - MI - FA	> 40	Mais (o Sorgo da granella)
		< 40	Frumento tenero (o altri cereali autunno-vernini)
	A	—	Frumento tenero (o altri cereali autunno-vernini)
≤ 0,5 - > 0,35	FS - MI - FA	> 40	Girasole
		< 40	Colza (o altre brassiche)
	A	—	—
≤ 0,35	FS - MI - FA	—	Colza (o altre brassiche)
	A	—	—

50% dell'evapotraspirazione potenziale ($IA > 0,5$). In particolare la coltivazione del mais (o del sorgo da granella) è stata prevista in terreni profondi (> 40 cm), con tessitura da franco-sabbiosa a franco-argillosa, mentre in terreni argillosi o poco profondi è stata ipotizzata la coltivazione del frumento tenero.

Per la filiera del biodiesel è stata ipotizzata la coltivazione in asciutta del girasole nella fascia climatica con IA compreso tra 0,35 e 0,5, su suoli profondi, con tessitura da franco-sabbiosa a franco-argillosa. In tutti i terreni argillosi dove $IA < 0,5$ non è stata ritenuta conveniente la produzione di alcuna coltura, per problemi legati soprattutto alla lavorazione del suolo, alla semina e all'emergenza delle plantule. Nei terreni poco profondi, con tessitura da franco-sabbiosa a franco-argillosa, è stata supposta la coltivazione della colza (o altre brassiche), così come nei suoli profondi o poco profondi delle stesse classi di tessitura, ma in condizioni climatiche caratterizzate da $IA \leq 0,35$ (*tab. 4*).

Stima delle rese unitarie potenziali

Non disponendo ad oggi di sufficienti informazioni in merito al comportamento ecofisiologico e agronomico delle specie da biomassa lignocellulosica nei diversi contesti pedoclimatici della regione, data la scarsa diffusione di queste a livello regionale, non è stato possibile determinare le loro rese potenziali né attraverso l'elaborazione statistica di dati monitorati né adottando modelli di simulazione che necessiterebbero comunque di una base di dati minima per la loro validazione.

La stima delle rese unitarie si è quindi basata sulla determinazione di un "coefficiente di resa relativa". Il coefficiente è stato elaborato a partire dalle rese medie unitarie di frumento duro e girasole, calcolate in base ai dati ISTAT dal 2000 al 2007 nelle diverse province. Tale coefficiente è servito a rappresentare le "attitudini produttive" delle 10 province, rispetto a quelle direttamente rilevate per le medesime colture nell'ambito della pianura pisana (Centro di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" – CIRAA di San Piero a Grado). Le due colture "guida" (girasole e frumento) sono state ritenute le più idonee allo scopo per le seguenti caratteristiche:

1. sono specie coltivate su tutto il territorio oggetto dello studio;
2. sono tra le colture arative più diffuse;
3. sono colture tradizionali, coltivate con tecniche agronomiche simili nella maggior parte delle aziende del territorio;
4. sono specie che si possono adattare anche alla riduzione dell'impiego di input culturali;
5. sono colture solitamente non irrigate.



Mais



Girasole



Colza

Questo approccio è stato adottato anche per le colture destinate alla produzione di biocarburanti, per le quali, pur disponendo di dati statistici di lungo periodo, non è possibile determinare altrimenti le rese potenziali in asciutta (ad esempio, il mais da granella è comunemente irrigato in tutti gli areali della regione). Quindi le rese medie delle colture lignocellulosiche e delle colture da biocarburanti, prodotte in asciutta presso il CIRAA, sono state moltiplicate per il coefficiente di resa stimato per ogni provincia.

1.3 Assetto del comparto agricolo, zootecnico e agroindustriale nel 2007

1.3.1 Il comparto agricolo

Nel 2007 la SAU regionale ammontava a circa 676.000 ha, dei quali più della metà (circa 355.000 ha) occupati da colture erbacee (cereali, colture industriali, foraggiere temporanee e ortive di pieno campo), e il resto equamente distribuito tra foraggiere permanenti e colture arboree (*tab. 5*).

Rispetto alla media dei 3 anni precedenti (2004-2006) la SAU regionale nel 2007 ha accusato una significativa riduzione, circa il -6%. In alcune province tale riduzione è stata particolarmente forte, Grosseto -16%, Arezzo -9%, Pisa -7%, Siena -5% (*tab. 5*). Nelle province di Pistoia, Prato e Livorno è stato osservato un incremento della SAU pari rispettivamente a 11%, 6% e 4%. La SAU è rimasta sostanzialmente invariata nelle province di Lucca e Massa Carrara.

Grosseto, nonostante la forte riduzione della SAU nel 2007, è risultata comunque la provincia più "agricola" con circa 142.000 ha coltivati, dei quali

87.000 ha a seminativo. Siena con una SAU pari a circa 134.500 ha è stata la provincia con la maggiore superficie agricola destinata alle colture erbacee (94.400 ha), e allo stesso tempo è risultata seconda per numero di ettari destinati alle coltivazioni arboree (34.100 ha), dietro solo a Firenze (41.850 ha). I 130.000 ha di SAU della provincia di Firenze nel 2007 erano equamente divisi tra erbacee, foraggiere permanenti e arboree, circa 42.000-45.000 ha per comparto (*tab. 5*).

A livello regionale, la SAU dal 2004 al 2007 ha subito una riduzione di circa il 10%, coinvolgendo tutti i principali comparti produttivi (*fig. 5*). Ovviamente le colture erbacee sono state più sensibili, con una riduzione nel 2007 pari a circa il 20% della superficie che occupavano solo 3 anni prima. Il dato è ancora più rilevante se si considera che la parte più sostanziosa di questo calo si è verificata tra il 2004 e il 2005. Anche la riduzione che ha coinvolto le superfici destinate alle foraggiere permanenti è consistente, circa -10%, peraltro avvenuta quasi esclusivamente tra il 2006 e il 2007. Per le superfici destinate alle colture arboree si è verificata una riduzione del 2,5% rispetto al 2004 (*fig. 5*).

Colture erbacee

I seminativi in Toscana nel 2004 ammontavano a circa 414.600 ha, mentre già nel 2005 a circa 358.300 ha e nel 2007 a 355.000 ha. La riduzione è dipesa quasi esclusivamente dalla crisi del comparto cerealicolo, che ha subito una diminuzione in termini di superfici coltivate del 30% dal 2004 al 2007. Gli altri comparti hanno invece subito degli incrementi anche sostanziosi, ma non tali da colmare la mancata messa a coltura dei cereali.

Le superfici destinate alle colture industriali tra il 2004 e il 2006 hanno subito un incremento pari a quasi il 50%, per poi tornare nel 2007 su valori più

Tab. 5 - SAU regionale nel 2007, suddivisa per provincia e per macro-categorie colturali

Province	Erbacee	Foraggiere permanenti	Arboree	SAU totale	var. % media 2004-2006
Arezzo	29.026	18.300	18.777	66.103	-9%
Firenze	43.648	44.700	41.850	130.198	-3%
Grosseto	87.389	27.000	27.964	142.353	-16%
Livorno	30.418	2.470	7.564	40.452	4%
Lucca	6.650	17.250	4.376	28.276	-1%
Massa Carrara	6.821	14.030	2.001	22.852	0%
Pisa	47.698	18.000	11.830	77.528	-7%
Pistoia	6.832	11.450	8.907	27.189	11%
Prato	2.197	1.530	2.500	6.227	6%
Siena	94.376	6.068	34.101	134.545	-5%
Totale Toscana	355.055	160.798	159.870	675.723	-6%

Nell'ultima colonna a destra è riportata la variazione percentuale della SAU del 2007 rispetto alla media della SAU tra il 2004 e il 2006.

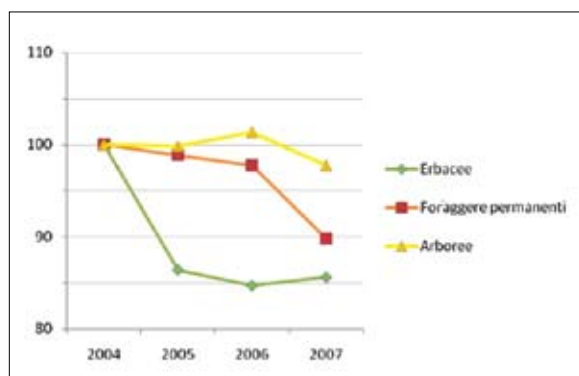


Fig. 5 - Variazioni percentuali della SAU dal 2004 al 2007 (fatto 100% i valori del 2004), distinta in colture erbacee, foraggiere e arboree

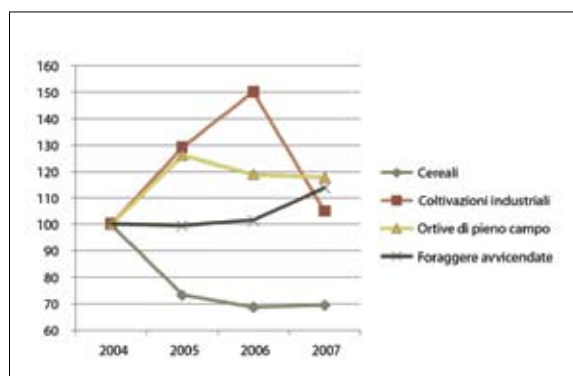


Fig. 6 - Variazioni percentuali delle superfici destinate alle varie categorie di colture erbacee dal 2004 al 2007 (fatto 100% i valori del 2004)

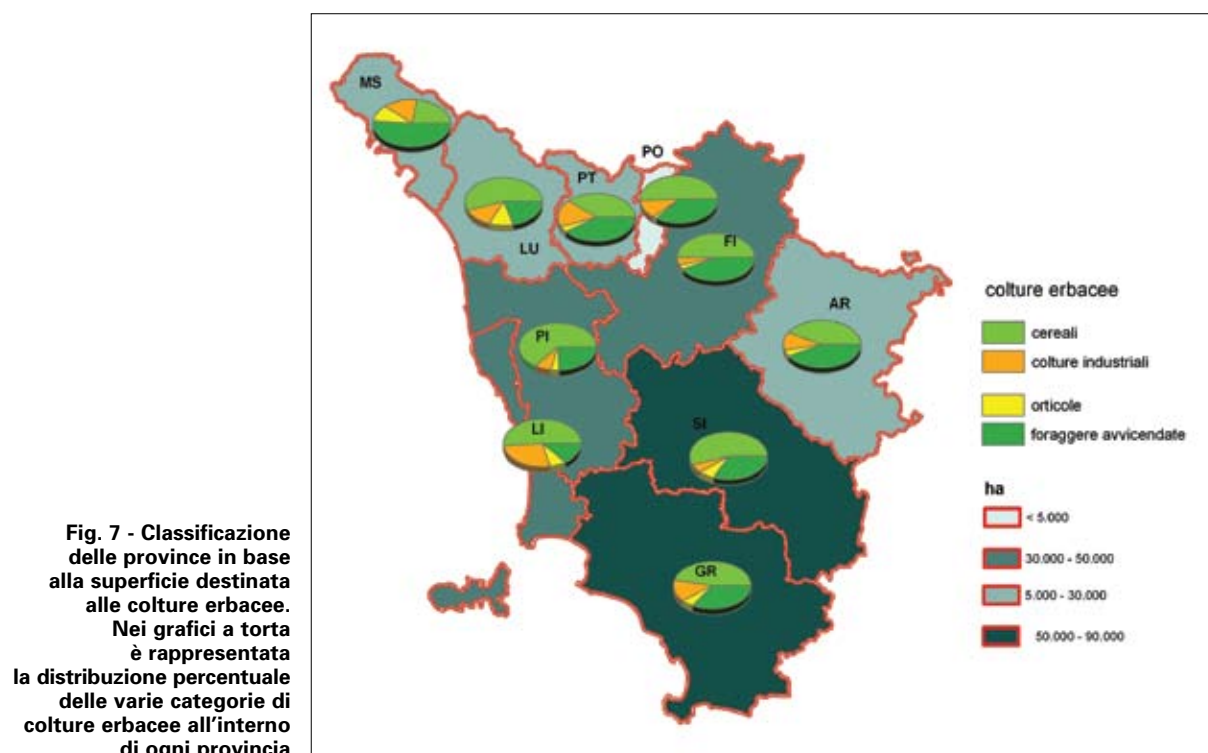
vicini a quelli del 2004 (*fig. 6*). Le superfici destinate alle ortive di pieno campo sono aumentate dal 2004 al 2007 di circa il 18%, mentre quelle interessate da foraggiere avvicendate sono aumentate del 12%, quasi interamente tra il 2006 e il 2007 (*fig. 6*).

A livello regionale, circa il 51% dei seminativi coltivati nel 2007 era occupato da colture cerealicole, il 33% da colture foraggiere avvicendate, il 7% da colture industriali e il 9% da ortive di pieno campo. I cereali occupavano, sempre nel 2007, tra il 40% e il 55% dei seminativi di tutte le province, a eccezione di Massa Carrara, dove i circa 6.800 ha di seminativi coltivati erano occupati da cereali solo per il 22%, mentre ortive e foraggiere avvicendate

occupavano rispettivamente il 26% e il 51% dei seminativi coltivati. In Provincia di Pisa i cereali coprivano una superficie pari al 63% dei 47.700 ha di seminativi coltivati (*fig. 7*).

Le colture industriali nel 2007 hanno interessato in tutte le province meno del 10% dei seminativi coltivati, a eccezione della provincia di Grosseto dove hanno occupato circa 10.100 ha, equivalenti al 12% dei seminativi.

Le province costiere di Massa Carrara, Lucca e Livorno hanno invece confermato anche nel 2007 la loro vocazione alle produzioni ortive di piena area, che hanno occupato il 30% dei seminativi a Livorno, il 22% a Lucca e il 26% a Massa Carrara.



Cereali

A livello regionale, i circa 184.650 ha coltivati a frumento duro nel 2004 sono calati nel 2007 del 44% (*fig. 8*). Anche il mais tra il 2004 e il 2007 ha accusato una riduzione in termini di superfici del 28%, passando da 29.300 ha a 21.100 ha circa. Nel caso del frumento duro la riduzione delle superfici coltivate si è manifestata diffusamente su tutto il territorio regionale, in particolare nelle province con una più elevata tradizione cerealicola: -61% in provincia di Grosseto, -55% ad Arezzo, -35% a Pisa e Siena. Per quanto riguarda il mais alcune province hanno subito una riduzione drastica delle superfici investite: Grosseto -77%, Livorno -60%, Pisa -43% e Arezzo -38%.

Le superfici coltivate a cereali minori sono invece incrementate, soprattutto nel caso del sorgo da granella, la cui superficie è praticamente triplicata nell'arco di 4 anni, da 880 ha nel 2004 a 13.750 nel 2007. Tra gli autunno-vernini, per l'orzo è stato riscontrato un incremento del 25% e per l'avena del 50%. Le superfici destinate al frumento tenero, che nel 2004 ammontavano a 21.200 ha, sono aumentate del 30% nel corso del 2005 e 2006, per poi tornare successivamente sui livelli del 2004.

Guardando la distribuzione dei cereali a livello provinciale (*fig. 9*), nel 2007 è stata evidenziata una prevalenza del frumento duro nelle province di Grosseto, Siena, Livorno e Pisa, con percentuali su tutti i cereali intorno al 65%. Il Mais invece nel

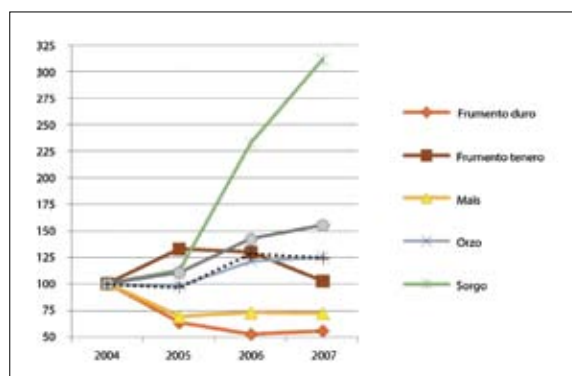


Fig. 8 - Variazione della SAU destinata ai cereali dal 2004 al 2007 (fatto 100% i valori del 2004)

2007 occupava tra il 70% e l'80% dei seminativi destinati ai cereali nelle province di Massa Carrara e Lucca, e Pistoia. Le superfici cerealicole delle province di Prato, Firenze e Arezzo erano invece più o meno equamente ripartite tra frumento duro, frumento tenero, mais e orzo. Il sorgo da granella ha rivestito un ruolo di rilievo nelle province di Livorno e Prato.

Culture industriali

Il girasole nel 2007 ha occupato circa 23.350 ha, equivalenti al 95% dei seminativi destinati alle sole colture industriali a livello regionale. Tra le altre colture, la colza nel 2007 è risultata seconda per superfici investite, circa 920 ha, registrando un

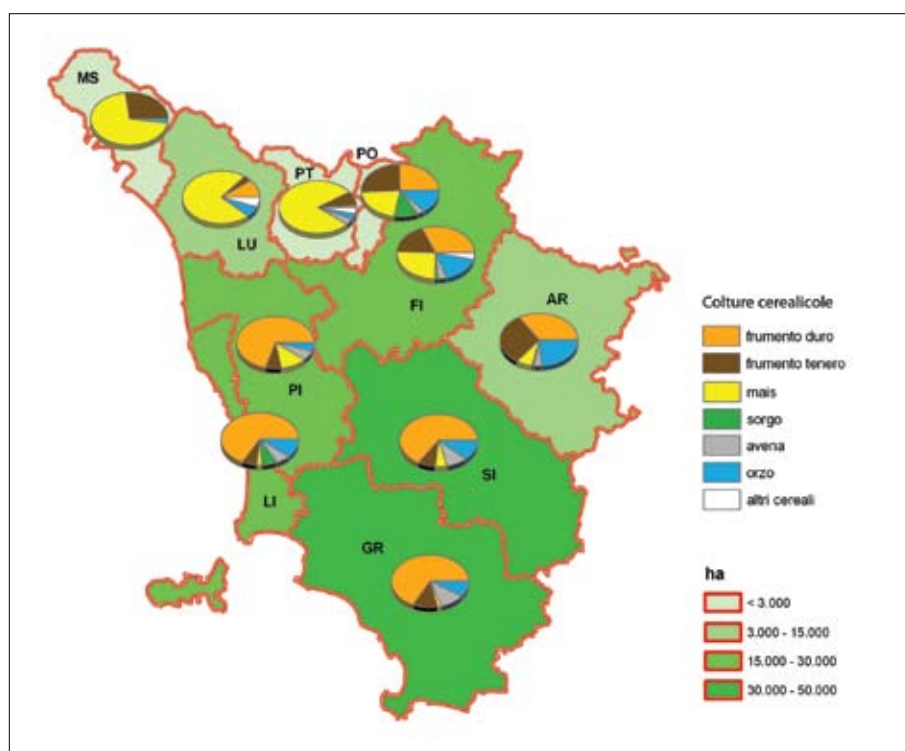


Fig. 9 - Classificazione delle province in base alla superficie destinata ai cereali. Nei grafici a torta è riportata la distribuzione percentuale dei vari cereali all'interno di ogni provincia

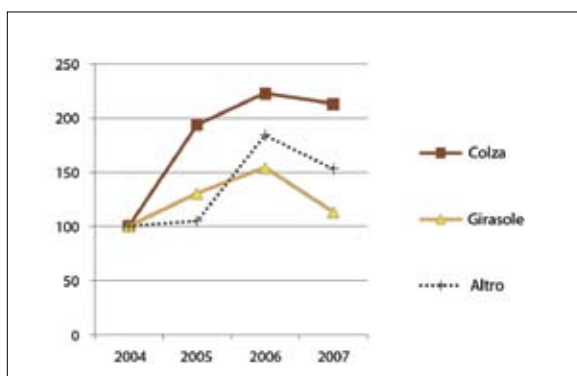


Fig. 10 - Variazioni della SAU destinata alle colture industriali dal 2004 al 2007 (fatto 100% i valori del 2004)

incremento rispetto al 2004 di oltre il 100% (fig. 10). Tra le altre colture industriali tra il 2006 e il 2007 è stato registrato il ritorno del lino, circa 300 ha, l'abbandono della coltivazione del tabacco e soprattutto un incremento del 60% delle superfici coltivate a patata.

Nel 2007, la coltivazione del girasole ha interessato, come da tradizione, soprattutto le province meridionali della regione, registrando però, in alcuni casi, significative flessioni rispetto agli anni precedenti: 10.000 ha coltivati a Grosseto, in linea con gli anni precedenti; 4.370 ha a Siena, la metà rispetto al 2004; 2.900 ha a Pisa, circa 1.000 ha in meno rispetto al 2004; ad Arezzo circa 2.400 ha, contro i 3.300 ha/anno coltivati mediamente nel triennio

precedente. Nelle altre province la coltivazione del girasole è stata poco significativa a livello generale, ma ha rappresentato comunque l'unica coltura oleaginosa di rilievo. Nella provincia di Firenze, in particolare, è stato rilevato un incremento della superficie coltivata a girasole tra il 2006 e il 2007, passando da 900 a 1.200 ha (fig. 11).

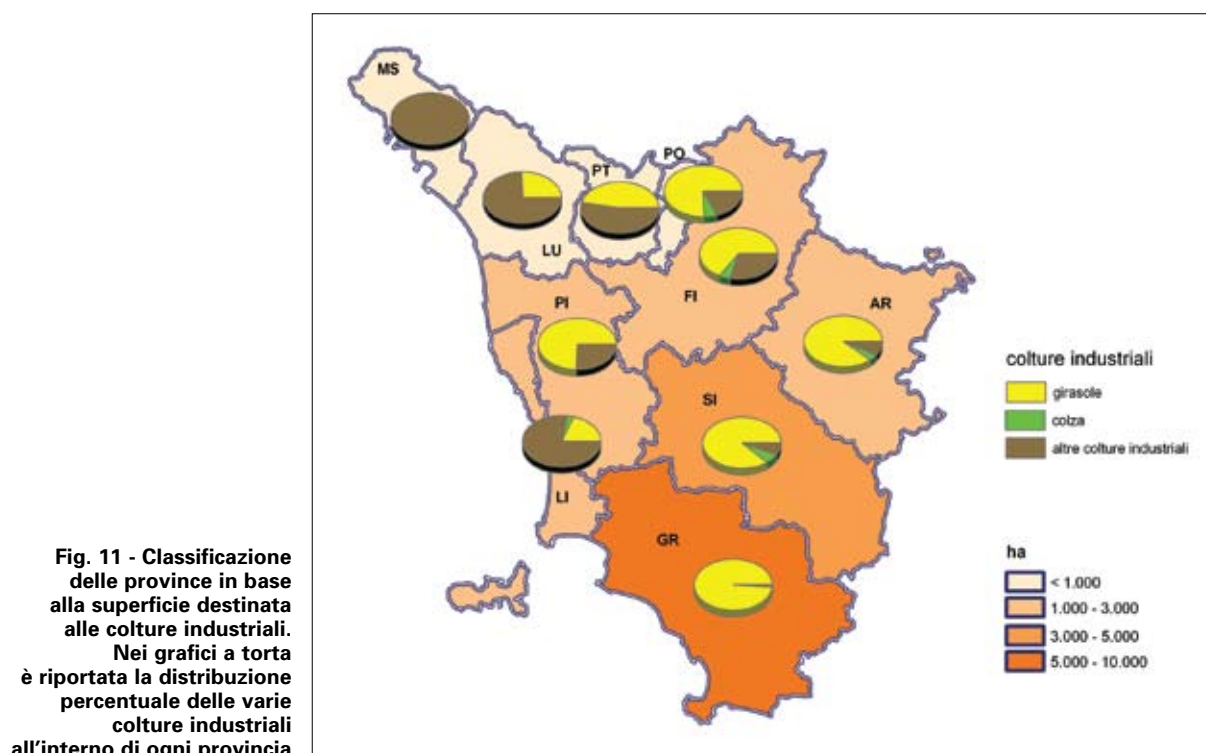
La colza ha trovato maggiore considerazione nelle province di Siena, Arezzo, Firenze e Prato, ma soprattutto in provincia di Livorno, circa 300 ha coltivati nel 2007.

Colture ortive di pieno campo

Le superfici destinate alle colture ortive di pieno campo, a partire dal 2004, hanno avuto un incremento del 20%, arrivando a interessare nel 2007 (fig. 12) circa 19.000 ha (9% dei seminativi coltivati), distribuiti principalmente nelle province di Siena (6.650 ha), Grosseto (4.600 ha), Livorno (2.450 ha) e Pisa (2.300 ha).

Colture arboree

La coltivazione delle specie arboree al 2007 è risultata concentrata principalmente nelle province di Firenze (41.850 ha) e Siena (34.100 ha). Nella provincia di Grosseto le superfici destinate alle coltivazioni arboree sono state stimate intorno ai 27.950 ha. Tra le altre province, si collocano al di sopra dei 10.000 ha solo Arezzo (18.880 ha) e Pisa (11.800 ha).



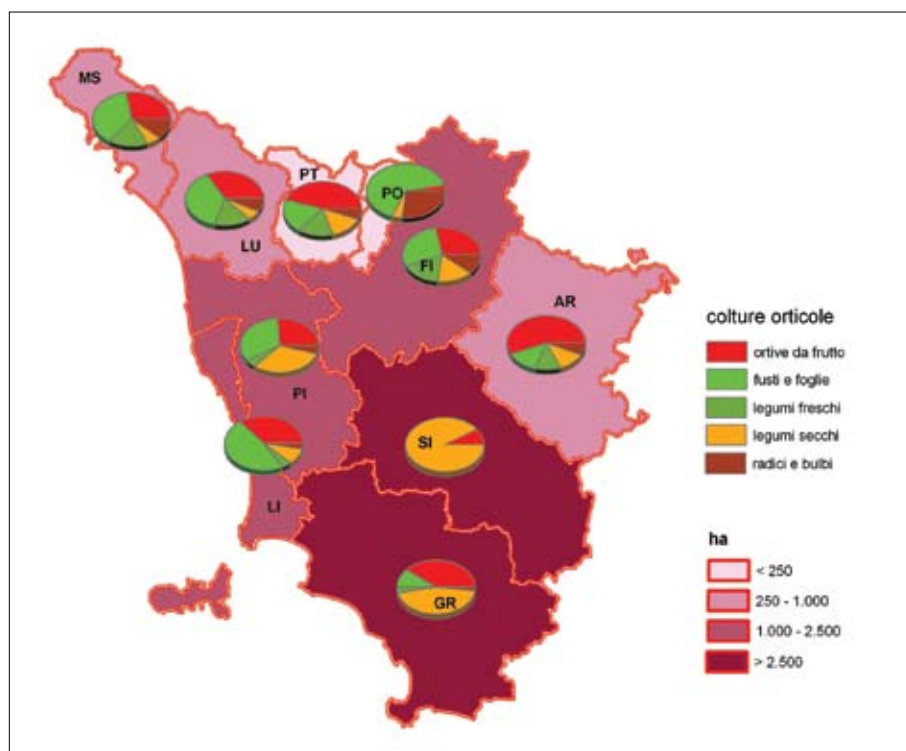


Fig. 12 - Classificazione delle province in base alla superficie destinata alle colture ortive. Nei grafici a torta è riportata la distribuzione percentuale delle varie colture ortive all'interno di ogni provincia

Data la durata media degli impianti arborei, la valutazione dell'evoluzione del comparto su un arco temporale di 4 anni è sicuramente poco significativa. Tuttavia sono state riscontrate alcune lievi variazioni che permettono di determinare le tendenze del settore nell'ambito della regione Toscana (*fig. 13*).

I 61.420 ha coltivati a vite nel 2004 sono aumentati nel corso dei successivi anni del 2%, per una superficie stimata nel 2007 a circa 62.560 ha, il 70% dei quali nelle sole province di Siena e Firenze. I 18.800 ha destinati alla vite nel 2007 in provincia di Siena rappresentavano circa il 60% delle superfici destinate alle colture arboree, mentre la restante superficie era

occupata dall'olivo. I 18.000 ha di vigneti della provincia di Firenze costituivano, nel 2007, il 43% della superficie destinata alle colture arboree (*fig. 14*). La coltura arborea più diffusa a livello regionale, e nelle diverse province, eccezion fatta per Siena, è l'olivo, che nel 2007 occupava una superficie di poco superiore ai 93.000 ha. Tuttavia è stata stimata, rispetto al 2004, una diminuzione del 5% (circa 4.700 ha), principalmente localizzata nella provincia di Firenze, dove si è passati dai 29.000 ha coltivati nel 2004 ai 23.000 del 2007, che rimane comunque la prima provincia per estensione degli oliveti, seguita da Grosseto (18.600 ha), Siena (15.200 ha), Arezzo (11.000 ha), Pistoia (7.800 ha) e Pisa (7.400 ha).

Le altre colture arboree da frutto nel 2007 occupavano meno di 4.200 ha, distribuiti principalmente nelle province di Arezzo (990 ha), Firenze (850 ha), Pisa (674 ha) e Grosseto (560 ha).

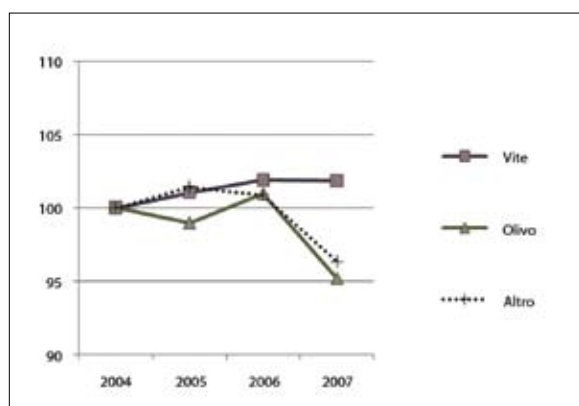


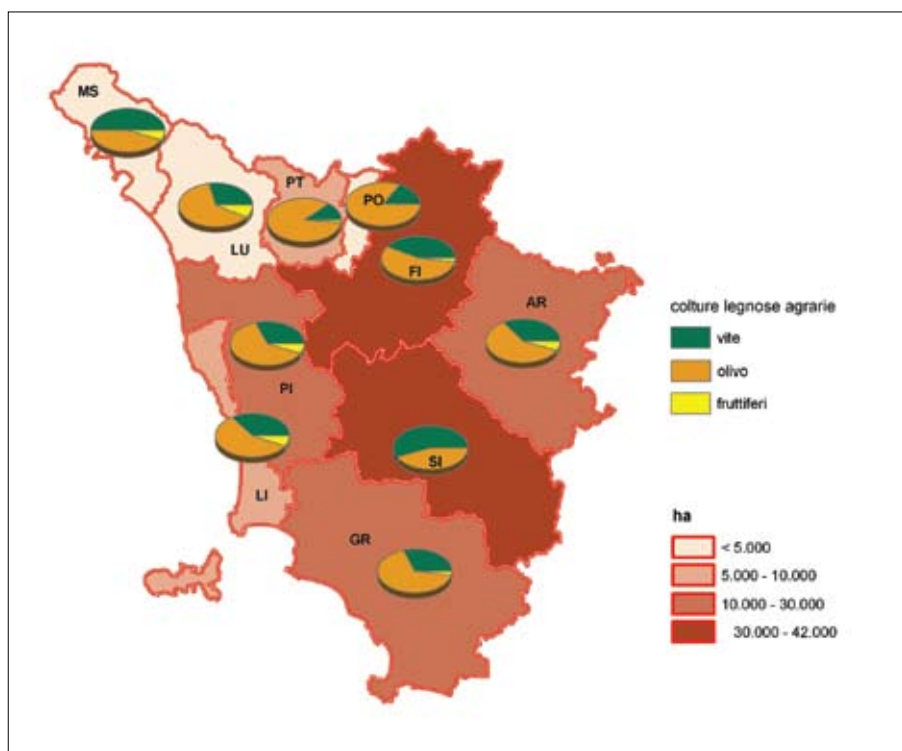
Fig. 13 - Variazioni percentuali della SAU destinata alle colture arboree (fatto 100% i valori del 2004)

1.3.2 Il comparto zootecnico

A livello regionale, le UBA totali nel 2000 ammontavano a circa 292.000 unità (*tab. 6*), di esse, circa 81.000 (28%), erano costituite da bovini, 55.000 (19%), da suini, 45.000, da avicoli (15%) e, 111.000 (38%), da altre specie (caprini, ovini ed equini).

I risultati ottenuti hanno permesso di evidenziare che Grosseto presentava il maggiore numero di UBA, circa 82.000 (30% del totale regionale), di cui

Fig. 14 - Classificazione delle province in base alla superficie destinata alle colture arboree. Nei grafici a torta è riportata la distribuzione percentuale delle varie colture arboree all'interno di ogni provincia



il 30% erano bovini, il 9% suini, il 4% avicoli e il 57% altre categorie. La provincia di Arezzo è risultata la seconda provincia per numero di UBA, circa 60.500 unità (20% del totale regionale), delle quali il 21% era costituito da bovini, il 40% da suini, il 22% da avicoli e il 17% da altre categorie. Anche nella provincia di Siena è stata riscontrata una significativa presenza di capi, infatti con 48.000 UBA essa ospitava circa il 16% della zootecnia regionale. Nel 2000, le UBA presenti nella provincia di Siena erano così ripartite: 23% bovini, 17% suini, 13% avicoli e 47% altre categorie. Nella *fig. 15* sono state rappresentate le province classificate in base all'ammontare delle UBA e alle specie allevate nel 2000.

È stato condotto un ulteriore approfondimento,

volto a stimare il grado di “affidabilità” che potrebbe avere l’impiego di dati dell’ultimo censimento agricolo per rappresentare lo stato attuale. A tale scopo sono stati confrontati i dati del censimento con alcuni dati disponibili per la provincia di Grosseto, che fanno riferimento agli anni 2002, 2004 e 2006 (stima del patrimonio zootecnico, Aprozoo). Ipotizzando che le stime riportate da Aprozoo siano confrontabili dal punto di vista metodologico con il rilevamento della consistenza degli allevamenti al 22 ottobre 2000 (effettuato nell’ambito dell’ultimo censimento agricolo), le variazioni registrate in ambito zootecnico tra l’anno 2000 e il 2006 sono tutte a carattere negativo: -4% per i bovini (-22% per le vacche da latte), e -12%, sia per i suini che per gli ovini.

Tab. 6 - UBA in Toscana nel 2000, suddivise per provincia e per macro-categorie di allevamenti

Province	UBA bovini	UBA suini	UBA avicoli	UBA “altri”	UBA totali
Arezzo	12.673	24.048	13.571	10.252	60.544
Firenze	11.214	2.687	3.756	7.527	25.183
Grosseto	24.478	7.201	2.957	47.612	82.249
Livorno	2.979	851	784	2.588	7.202
Lucca	4.312	712	2.218	4.362	11.604
Massa Carrara	3.045	1.311	849	3.665	8.870
Pisa	7.955	8.256	13.316	9.771	39.298
Pistoia	2.613	1.511	1.217	2.213	7.553
Prato	514	84	179	898	1.675
Siena	10.967	8.164	6.445	22.560	48.136
Totale Toscana	80.750	54.825	45.292	111.448	292.315

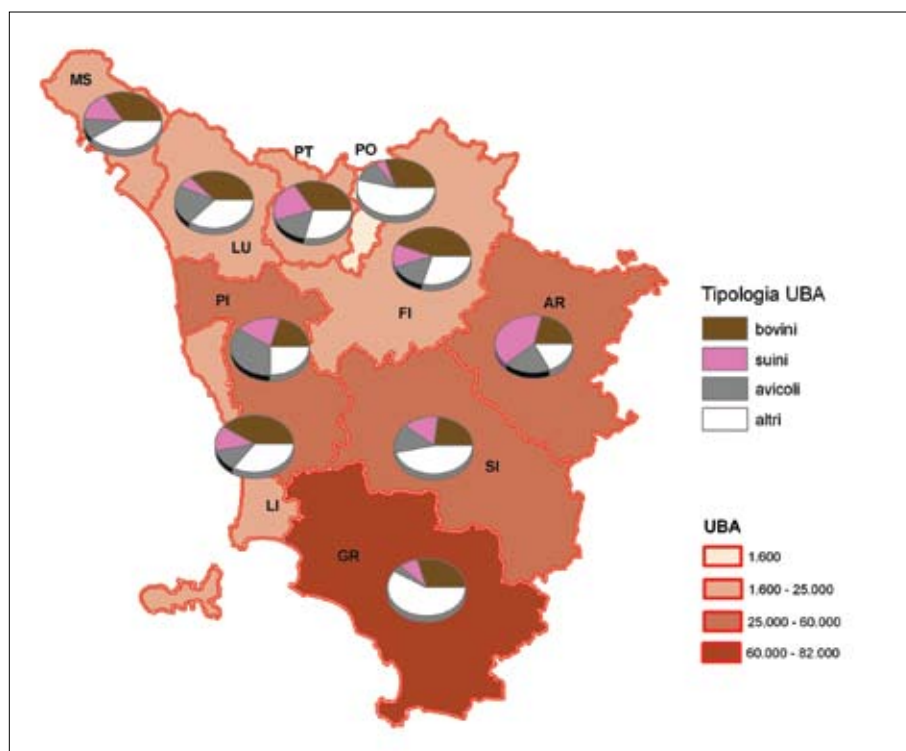


Fig. 15 - Classificazione delle province in base al numero di UBA presenti nel territorio regionale nel 2000 (ISTAT); nei grafici a torta è rappresentata anche la distribuzione percentuale delle principali specie allevate

Per quanto riguarda gli allevamenti avicoli, essi non sono inclusi nella stima di Aprozoo del 2006, per cui non è stato possibile fare una valutazione delle eventuali variazioni registrate da questo settore.

1.3.3 Il comparto agroindustriale

Il numero totale di imprese agroindustriali, iscritte nel primo trimestre del 2008 al Registro delle Imprese delle Camere di Commercio della Toscana, è stato pari a 5.470. Di queste, sono state selezionate quelle appartenenti ai quattro settori di maggior interesse dal punto di vista agrienergetico. I settori interessati sono quelli relativi all'industria della macellazione, lattiero-casearia, del vino e dell'olio di oliva. Il numero di imprese che ricadono in questi settori è pari a 286 ed è così ripartito: 71 imprese del settore macellazione, 133 del settore olio di oliva, 62 imprese del settore caseario e 20

imprese del settore vinicolo. Naturalmente questo dato non riflette perfettamente la realtà del territorio, soprattutto per i settori vinicolo e dell'olio d'oliva, nei quali la gran parte della trasformazione avviene in cantine annesse all'azienda agricola e in piccoli frantoi che non sono rilevati dalle Camere di Commercio come imprese agroindustriali.

Nella *fig. 16* si può osservare la distribuzione provinciale delle 286 imprese considerate. Si nota come la maggior parte delle aziende (64%) si trova nelle province di Grosseto, Siena, Firenze e Arezzo.

Classificando le aziende in base al valore della produzione (fatturato annuo), secondo la classificazione convenzionale delle Camere di Commercio (*tab. 7*), risulta che la maggior parte di esse (68%) sono comprese nella categoria delle imprese non obbligate al deposito di bilancio (*fig. 17*). Come si evince dalla *tab. 7*, in tale classe ricadono principalmente le imprese individuali e in generale società con una strutturazione semplice, per cui è

Tab. 7 - Classificazione delle imprese agroindustriali in base al valore della produzione secondo il registro delle Camere di Commercio della Toscana

Imprese non obbligate al deposito del bilancio	Imprese piccole	Imprese medio-piccole	Imprese medio-grandi	Imprese grandi
Società di persone, imprese individuali, ecc.	Imprese con bilancio fino a 250 mila euro	Imprese con bilancio tra 250 mila euro e 1 milione di euro	Imprese con bilancio tra 1 e 10 milioni di euro	Imprese con bilancio oltre 10 milioni di euro

Fig. 16 - Distribuzione provinciale (valori percentuali) delle imprese agroindustriali, iscritte al registro delle Camere di Commercio, di interesse agroenergetico (dati riferiti al primo trimestre del 2008)

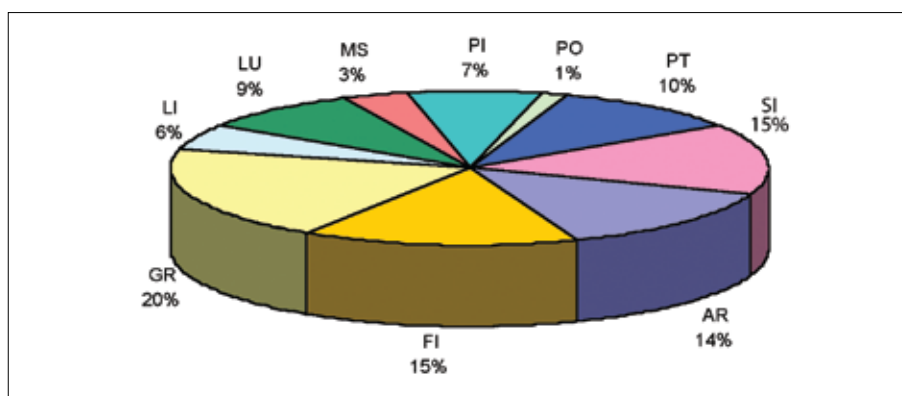


Fig. 17 - Distribuzione percentuale delle imprese agroindustriali selezionate per lo studio secondo le categorie dimensionali riportate nella tabella 7 (dati riferiti al primo trimestre del 2008)

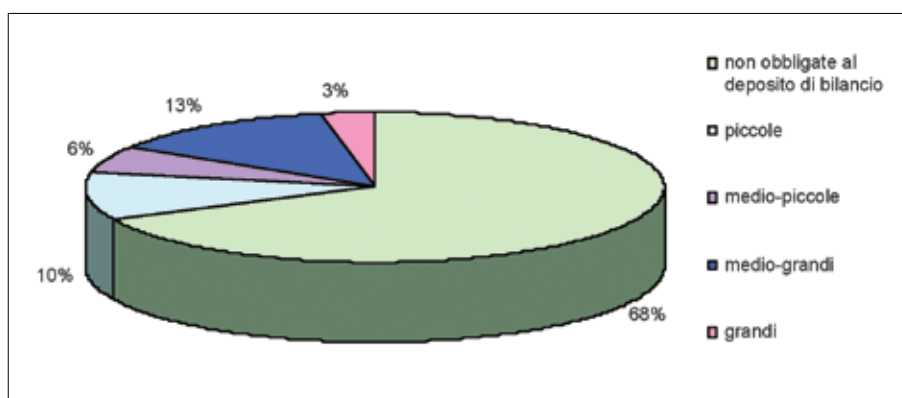
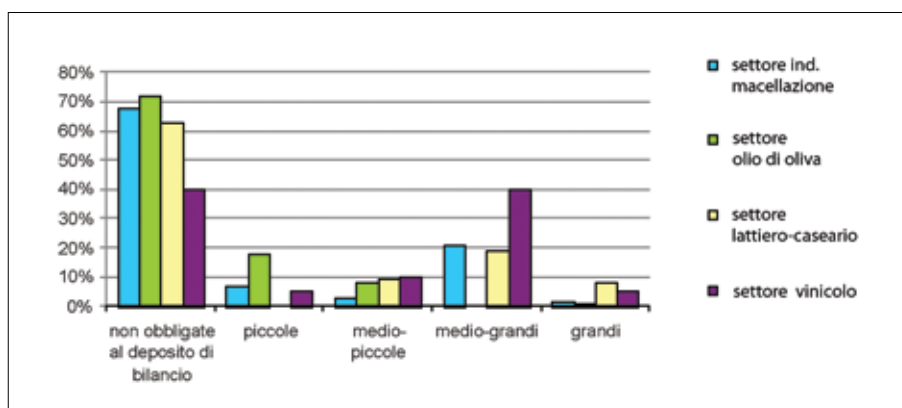


Fig. 18 - Incidenza percentuale delle varie classi di fatturato delle imprese dei diversi settori agroindustriali considerati nello studio (dati riferiti al primo trimestre del 2008)



stato ritenuto plausibile omologarle alla classe di fatturato più bassa. Da ciò è risultato che le aziende dei settori considerati sono per la maggior parte di dimensioni piccole (78% sul totale), mentre le imprese di medie dimensioni (classi medio-piccole e medio-grandi) costituiscono il 19% del totale e le grandi imprese solo il 3% (*tab. 7*).

Tale distribuzione si riflette in modo analogo anche nei singoli settori, ad eccezione del settore vinicolo dove le imprese medio-grandi rappresentano il 40% delle aziende. Il settore dell'industria della macellazione e il settore lattiero-caseario presentano percentuali d'incidenza della categoria "medio-gran-

di" intorno al 20%. Nel settore dell'olio d'oliva prevalgono le aziende non obbligate al deposito di bilancio e le aziende piccole, mentre le aziende medio-grandi e grandi rappresentano solo l'1%. Nel settore lattiero-caseario è stata riscontrata la maggiore presenza di grandi imprese, con un'incidenza del 8% (*fig. 18*).

Considerando l'indirizzo delle sedi legali delle singole aziende è stato possibile allocare le imprese agroindustriali a livello comunale. L'area di maggiore concentrazione di aziende di dimensioni prevalentemente medie e grandi è situata a cavallo delle province di Lucca, Pistoia, Prato, Pisa e Firenze, in prossimità delle grandi arterie di comunicazione (*fig. 19*).

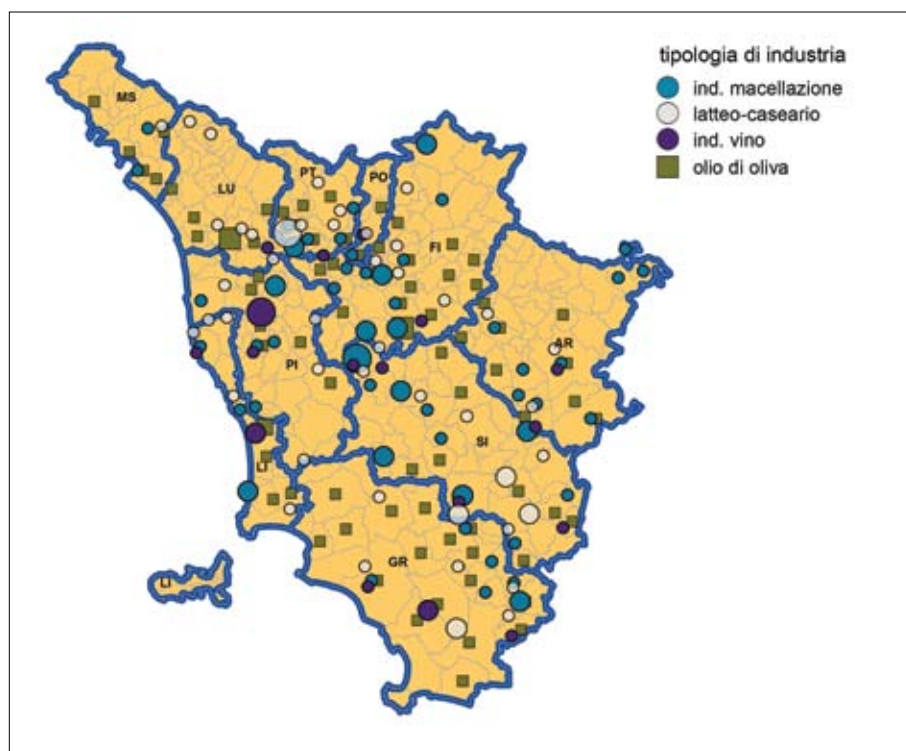


Fig. 19 - Localizzazione comunale delle imprese agroindustriali selezionate per lo studio

1.4 Ipotesi di produzione delle agroenergie nel 2013

1.4.1 Filiere delle biomasse lignocellulosiche

Residui agricoli potenziali

La produzione di energia da residui agricoli, tramite processi di combustione, dipende dalle possibilità di sfruttamento di biomasse di tipo erbaceo (paglie e stocchi) e di residui di tipo legnoso (potature ed espianti). Lo studio condotto elaborando i dati dell'ISTAT ha permesso di stimare la biomassa potenzialmente disponibile nel 2007 a livello regionale, circa 716.000 t di sostanza secca, costituite per i due terzi da materiale di tipo erbaceo e per un

terzo da materiale legnoso (*tab. 8*).

Nella sola provincia di Siena sono state prodotte quasi 170.000 t di biomassa da residui agricoli di campo, dei quali circa 120.000 t di tipo erbaceo. Nella provincia di Firenze è stata rilevata la maggiore produzione di residui di tipo legnoso, circa 76.600 t, su un totale di circa 131.000 t di sostanza secca. Produzioni potenziali al di sopra di 100.000 t/anno di residui sono state stimate anche nelle province di Grosseto (138.000 t) e Pisa (100.600 t).

Produzioni potenziali tra le 20.000 e le 60.000 t/anno di biomassa residua sono state stimate per le province di Arezzo, Livorno, Pistoia e Lucca, mentre per le province di Massa Carrara e Prato sono stati stimati quantitativi potenziali inferiori alle 10.000 t/anno.

Tab. 8 - Residui agricoli destinabili alla filiera dei biocombustibili solidi (t s.s. nel 2007)

Province	Residui da colture erbacee	Residui da colture arboree	Totale
Arezzo	25.692	30.988	56.681
Firenze	54.137	76.582	130.719
Grosseto	87.774	50.298	138.072
Livorno	35.583	12.404	47.987
Lucca	18.027	7.802	25.829
Massa Carrara	5.137	3.031	8.168
Pisa	79.984	20.660	100.644
Pistoia	12.095	18.950	31.045
Prato	3.353	4.433	7.786
Siena	118.367	50.998	169.365
Totale Toscana	440.149	276.147	716.296

Tab. 9 - Superfici potenzialmente destinabili alle diverse colture dedicate di tipo lignocellulosico (ha)

<i>Province</i>	<i>SRF pioppo</i>	<i>Sorgo</i>	<i>Sorgo precoce</i>	<i>Miscanto</i>	<i>Canna</i>	<i>Cardo</i>	<i>Totale</i>
Arezzo	40.195	844	0	227	6.770	3.523	51.559
Firenze	20.440	4.829	0	1.300	7.591	3.201	37.361
Grosseto	40.880	14.325	4.024	3.857	43.968	20.822	127.875
Livorno	22.791	2.578	75	694	3.931	1.703	31.773
Lucca	5.426	84	0	22	902	474	6.908
Massa Carrara	549	177	0	48	99	28	901
Pisa	47.856	11.768	0	3.168	10.084	3.724	76.601
Pistoia	10.457	0	0	0	423	228	11.108
Prato	3.764	0	0	0	175	94	4.034
Siena	60.140	26.205	0	7.055	10.026	1.599	105.026
<i>Totale Toscana</i>	<i>252.500</i>	<i>60.811</i>	<i>4.099</i>	<i>16.372</i>	<i>83.969</i>	<i>35.395</i>	<i>453.146</i>

*Potenziale delle colture dedicate**Superfici potenziali*

Lo studio condotto per l'identificazione dei possibili areali di coltivazione delle colture dedicate di tipo lignocellulosico ha consentito di stimare le superfici potenzialmente destinabili a ciascuna delle specie considerate.

In generale gli ettari disponibili per la produzione di biomassa da colture da energia nella regione Toscana sono circa 453.000. Si tratta prevalentemente di seminativi non irrigui concentrati soprattutto in corrispondenza delle pianure alluvionali della costa e nelle valli dell'interno.

La maggior disponibilità di superfici per le colture da biomassa è stata riscontrata nelle province di Grosseto (circa 128.000 ha) e Siena (circa 105.000 ha). Una disponibilità potenziale di superfici compresa tra i 50.000 e gli 80.000 ha è stata stimata nelle province di Pisa e Arezzo. Per Livorno e Firenze la disponibilità potenziale è stata stimata tra i 30.000 e i 40.000 ha. Nelle province di Lucca, Prato, e Massa Carrara sono state stimate superfici potenziali inferiori a 10.000 ha (*tab. 9*).

L'ipotesi di utilizzo di specie diverse consentirebbe la diffusione delle colture da biomassa, in condizioni non irrigue, anche in aree più svantaggiate dal punto di vista pedoclimatico. Pertanto è stata stimata una superficie potenziale per la coltivazione del pioppo (ritenuta la coltura di maggior pregio tra quelle considerate) pari a circa 252.500 ha concentrati soprattutto nelle zone di pianura. I seminativi non irrigui delle aree pedecollinari, caratterizzati da suoli poco profondi, prevalentemente argillosi o franco-argillosi, sono stati ritenuti più adatti alla coltivazione di canna comune (84.000 ha) e/o cardo (35.400 ha).

Per la produzione del sorgo è stata stimata una disponibilità di superfici pari a circa 61.000 ha, per le varietà tardive, e di 4.000 ha per le varietà precoci.

Particolarmente vocate alla coltivazione del pioppo sono risultate la pianura pisana e la Val d'Era; nel complesso, nella provincia di Pisa è stata rilevata una disponibilità di superfici destinabili alle SRF pari a circa 48.000 ha, mentre le superfici adatte alla coltivazione di miscanto, sorgo e canna sono state individuate nella parte a monte della Val d'Era e nelle zone pianeggianti di Collesalveti.

Nella provincia di Siena sono stati stimati circa 60.000 ha per la coltivazione delle SRF di pioppo, concentrati soprattutto in Val di Chiana, nell'alta Val d'Elsa e in Val d'Orcia. Nelle stesse zone, i terreni più argillosi sono stati ritenuti più idonei alla eventuale coltivazione di miscanto, sorgo e canna comune (*fig. 20*).

In provincia di Arezzo, i circa 40.000 ha stimati idonei alla coltivazione del pioppo sono localizzati soprattutto in Val di Chiana, a cavallo con la provincia di Siena, e nella Valle dell'Arno, a cavallo con la provincia di Firenze.

In provincia di Grosseto è stata rilevata la più alta disponibilità di superfici da destinare alle colture dedicate lignocellulosiche, circa 128.000 ha, dei quali solo il 30% adatti alla coltivazione del pioppo e concentrati prevalentemente nella piana grossetana, tra i fiumi Ombrone e Bruna, e lungo il corso dell'Albegna. Date le condizioni climatiche della provincia di Grosseto, caratterizzata in molte zone da estati particolarmente siccitose, sono stati stimati inoltre più di 60.000 ha di superfici destinabili a colture più rustiche, quali la canna e il cardo, o a varietà precoci di sorgo da fibra.

Nella provincia di Livorno, la coltivazione del pioppo si potrebbe concentrare nelle pianure costiere della Val di Cornia e della Val di Cecina, per una disponibilità potenziale di circa 23.000 ha. Mentre in provincia di Firenze i circa 37.000 ha destinabili alle colture dedicate (circa 20.500 ha adatti alla SRF di pioppo e circa 13.700 ha adatti alla coltivazione di miscanto, sorgo e canna) sono

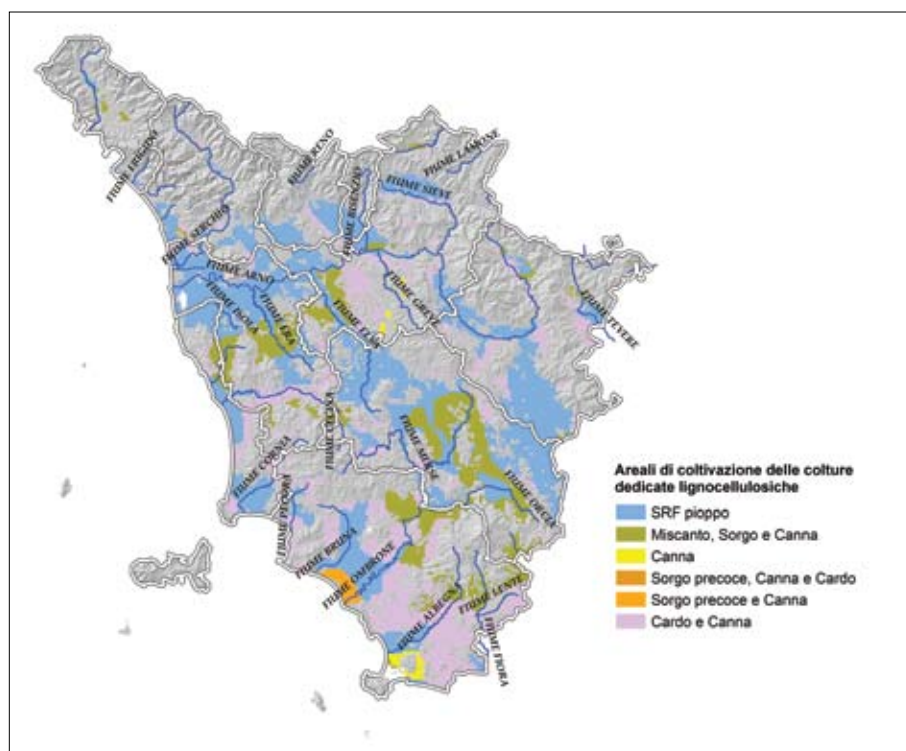


Fig. 20 - Distribuzione delle superfici potenzialmente destinabili alla coltivazione delle colture da biomassa considerate nello studio

distribuiti principalmente nella zona pianeggiante del Mugello, nella Valle dell'Arno, in Val d'Elsa e nella pianura del Bisenzio (fig. 20).

Rese potenziali

Le rese stimate per le colture da biomassa lignocellulosica riflettono i livelli produttivi di frumento duro e girasole, determinati a livello provinciale a partire dai dati di produzione ISTAT dal 2004 al 2007.

Per tutte le colture i valori più elevati sono stati stimati nelle province a nord della regione, a Massa Carrara e a Lucca, dove la canna potrebbe raggiungere anche rese medie unitarie pari a circa 38 t s.s./ha, la SRF di pioppo 22,1 t s.s./ha, miscanto e

sorgo circa 31,2 t s.s./ha. Anche nelle province di Pisa, Livorno e Prato sono stati stimati alti livelli di resa: circa 31,4-35 t s.s./ha per la canna, 25,7-28,5 t s.s./ha per il sorgo, 18,2-20,2 t s.s./ha per la SRF di pioppo. Le rese più basse sono state stimate per le province di Grosseto e Siena, dove la canna potrebbe produrre in media circa 24,2-24,9 t s.s./ha, il pioppo circa 14-14,5 t s.s./ha e il sorgo 19,7-20,3 t s.s./ha (tab. 10).

Ipotesi di produzione

La stima della produzione ipotetica di biocombustibili solidi per il 2013 si è basata su assunzioni di tipo agronomico-ambientale e considerando in parte

Tab. 10 - Rese medie provinciali, stimate per le colture dedicate di tipo lignocellulosico (t s.s./ha)

Province	Canna	Cardo	Miscanto	Pioppo	Sorgo	Sorgo precoce
Arezzo	26,9	9,9	22,0	15,6	22,0	13,2
Firenze	25,9	9,5	21,1	15,0	21,2	12,7
Grosseto	24,2	8,9	19,7	14,0	19,7	11,8
Livorno	31,8	11,7	25,9	18,4	25,9	15,6
Lucca	38,2	14,0	31,2	22,1	31,2	18,7
Massa Carrara	38,2	14,0	31,2	22,1	31,2	18,7
Pisa	31,4	11,5	25,6	18,2	25,7	15,4
Pistoia	27,6	10,2	22,5	16,0	22,6	13,5
Prato	34,9	12,8	28,5	20,2	28,5	17,1
Siena	24,9	9,1	20,3	14,4	20,3	12,2

Tab. 11 - Produzioni a scala provinciale, stimate in base allo scenario ipotizzato per il 2013, delle biomasse lignocellulosiche e relativo potenziale energetico

Province	Colture dedicate (t s.s./anno)	Residui agricoli (t s.s./anno)	Totale (t s.s./anno)	Colture dedicate (GJ/anno)	Residui agricoli (GJ/anno)	Totale (GJ/anno)
Arezzo	91.408	28.353	119.761	1.689.818	511.283	2.201.101
Firenze	65.043	68.206	133.249	1.196.729	1.230.695	2.427.424
Grosseto	213.392	55.264	268.656	3.920.255	990.719	4.910.975
Livorno	66.416	16.420	82.835	1.245.352	292.826	1.538.178
Lucca	14.073	9.399	23.472	264.289	168.065	432.354
Massa Carrara	2.390	3.300	5.690	43.867	59.102	102.969
Pisa	127.793	31.492	159.285	2.338.598	559.908	2.898.506
Pistoia	13.299	16.629	29.928	261.458	300.568	562.026
Prato	9.354	3.995	13.350	174.579	72.135	246.714
Siena	173.427	61.922	235.349	3.218.038	1.105.614	4.323.652
Totale Toscana	776.596	294.980	1.071.575	14.352.982	5.290.915	19.643.898

le dinamiche di sviluppo che hanno caratterizzato il settore agricolo delle diverse province negli ultimi anni. In particolare per i residui delle colture arboree è stato ipotizzato uno sfruttamento massimo del 75% del potenziale stimato, considerando le probabili difficoltà che le aziende di piccole dimensioni e delle aree collinari incontrerebbero nella gestione delle potature ai fini energetici. Per il recupero dei residui di tipo erbaceo è stato invece supposto, come limite massimo, lo sfruttamento del 20% del potenziale stimato, ipotizzando di sottrarre residui dallo stesso appezzamento con ritmo non superiore ai 5 anni, al fine di evitare un eccessivo impoverimento in sostanza organica dei suoli agrari.

Per le colture da biomassa è stato supposto uno sfruttamento delle superfici potenziali stimate non superiore al 10%, quota che nel recente passato era stata destinata al *set-aside* e che, al 2007, è risultata comunque incolta, dato il progressivo abbandono di seminativi evidenziato soprattutto nel settore cerealicolo.

Il rapporto, in base al quale le superfici potenziali sono state attribuite alternativamente a colture dedicate di tipo legnoso o di tipo erbaceo, è stato determinato in modo da massimizzare la produzione a scala comunale, mantenendo una percentuale minima di materiale legnoso, sulla biomassa totale, pari al 50%. In tal modo è stata considerata la possibilità di produrre a scala comunale una biomassa di origine agricola, equilibrata dal punto di vista del valore energetico e della produzione di ceneri alla combustione.

In base allo scenario ipotizzato è stata stimata una produzione di residui agricoli maggiore nelle province di Firenze (68.000 t s.s./anno), Grosseto (55.000 t s.s./anno) e Siena (62.000 t s.s./anno).

Nelle province di Arezzo, Livorno e Pistoia, sono state stimate produzioni comprese tra 16.000 t s.s./anno e poco più di 28.000 t s.s./anno. Nelle province di Lucca, Massa Carrara e Prato i livelli di produzione sono risultati inferiori a 10.000 t s.s./anno (*tab. 11*).

Considerando i livelli di produzione di biomassa stimati per le sole colture dedicate, sono risultate particolarmente favorite le province di Grosseto (213.000 t s.s./anno) e Siena (173.000 t s.s./anno). Per le province di Arezzo e Pisa sono state stimate produzioni di biomassa da colture dedicate di 90.000 e 128.000 t s.s./anno rispettivamente. Nelle province di Firenze e Livorno sono state stimate circa 65.000 t s.s./anno, mentre le produzioni nelle province di Lucca, Prato, Pistoia e Massa Carrara sono risultate inferiori a 15.000 t s.s./anno (*tab. 11*).

L'analisi del potenziale energetico dai residui agricoli e dalle colture dedicate ha permesso di evidenziare che le province di Grosseto e Siena (circa 9 milioni di GJ/anno) possono da sole coprire quasi il 50% della produzione di biomasse agricole della regione pari a 19,6 milioni di GJ/anno. Anche nelle province di Arezzo, Firenze e Pisa sono state riscontrate buone potenzialità, raggiungendo insieme il 38% del potenziale regionale (circa 7,5 milioni di GJ/anno). La provincia di Livorno, che segue le precedenti in termini di potenziale energetico, potrebbe coprire circa l'8% della produzione regionale (1,5 milioni di GJ/anno). Le province di Lucca, Massa Carrara, Pistoia e Prato, eccezion fatta per alcuni comuni particolarmente vocati, hanno presentato basse produzioni di residui agricoli e limitata vocazionalità per la coltivazione di colture dedicate (*fig. 21*).

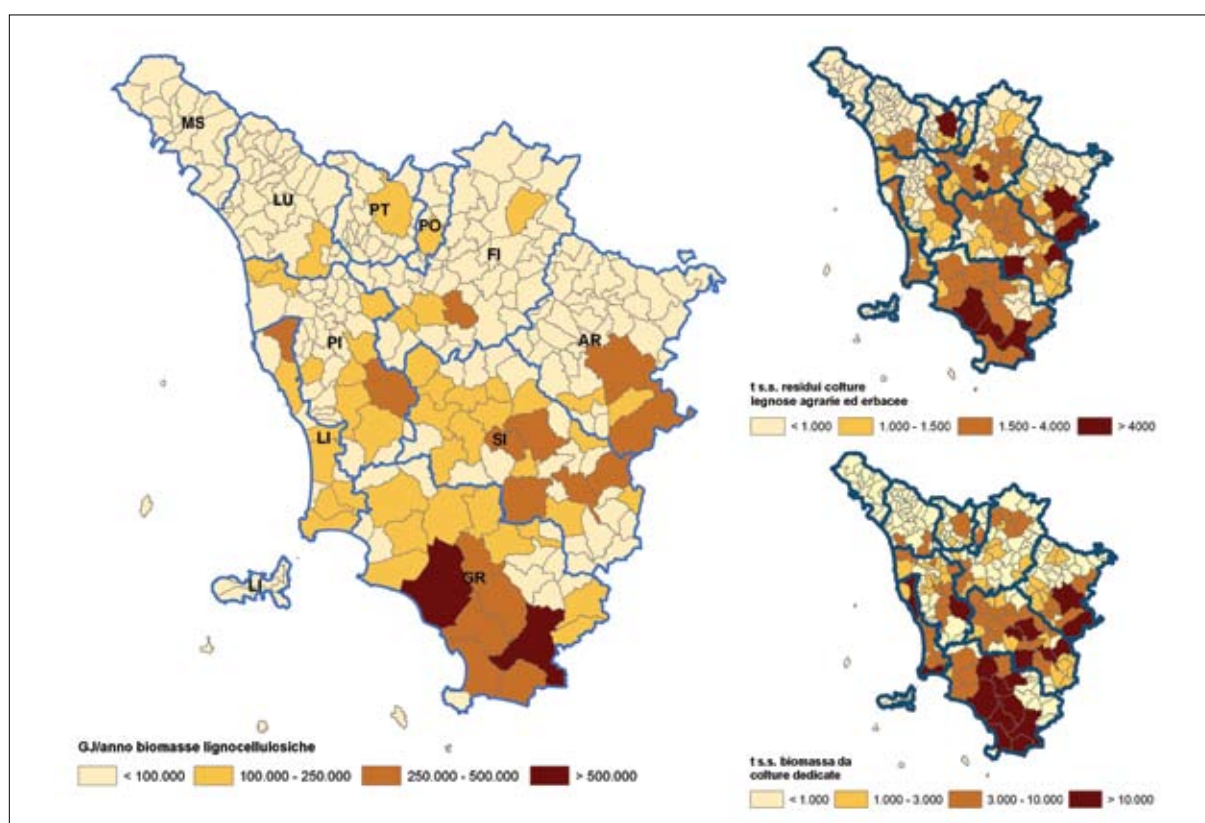


Fig. 21 - Produzione potenziale annua di energia dal comparto agricolo, espressa in GJ (a sinistra), utilizzando biomasse residue (in alto, a destra) e biomasse prodotte da colture dedicate (in basso, a destra)

1.4.2 La filiera dei biocarburanti

Potenziale delle colture dedicate

Superfici potenziali

L'analisi condotta per stimare le superfici potenziali da destinare alla produzione di biocarburanti liquidi ha evidenziato, a livello regionale, una maggior disponibilità di superfici idonee per la coltiva-

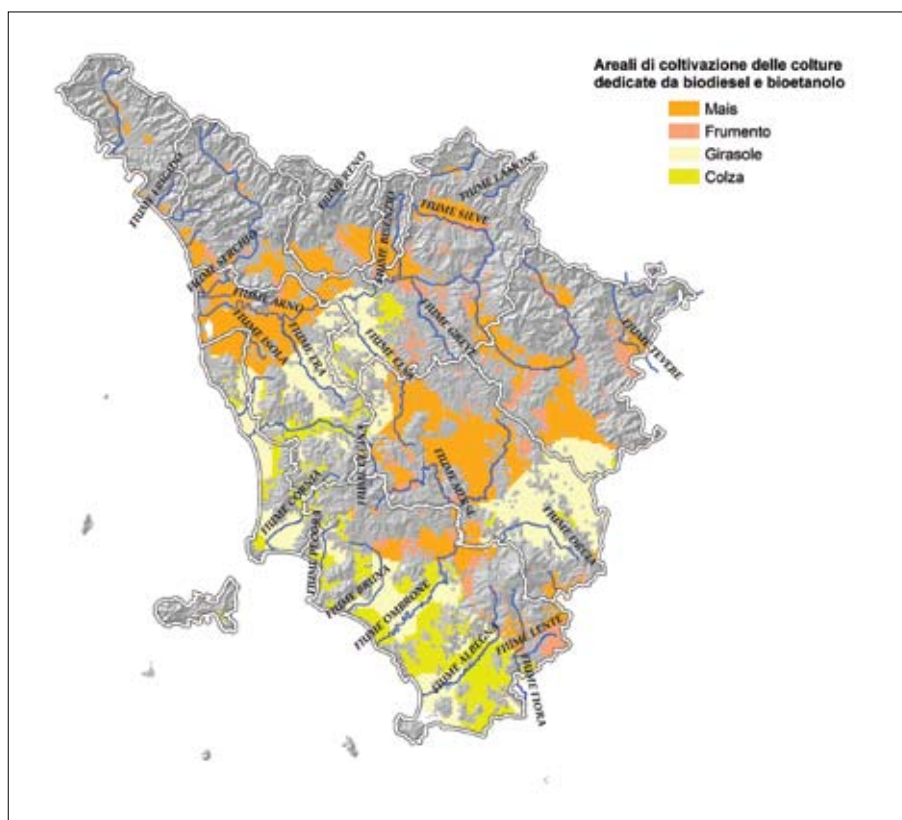
zione di specie oleagionose, circa 240.000 ha, di cui 164.000 ha per il girasole. Le superfici destinabili invece alla produzione di bioetanolo ammonterebbero a poco meno di 220.000 ha, dei quali 184.800 ha destinabili alla coltivazione di mais e 34.000 ha sfruttabili per la coltivazione di frumento tenero o altri cereali autunno-vernini.

La provincia risultata più vocata alle colture oleagionose è Grosseto, circa 100.000 ha distribuiti

Tab. 12 - Superfici potenzialmente destinabili alle colture dedicate per le filiere del bioetanolo e del biodiesel in base allo scenario ipotizzato per il 2013 (ha)

Province	Mais	Frumento	Girasole	Colza	Totale
Arezzo	28.149	9.714	13.345	351	51.559
Firenze	17.536	6.549	10.333	2.943	37.361
Grosseto	19.395	9.875	46.033	52.573	127.875
Livorno	5.820	0	21.088	4.865	31.773
Lucca	5.555	1.353	0	0	6.908
Massa Carrara	822	79	0	0	901
Pisa	36.925	1.881	29.036	8.759	76.601
Pistoia	10.457	651	0	0	11.108
Prato	3.764	270	0	0	4.034
Siena	56.358	3.588	44.098	982	105.026
Totale Toscana	184.781	33.959	163.932	70.474	453.146

Fig. 22 - Distribuzione delle superfici potenzialmente destinabili alla coltivazione delle colture per la produzione di biocarburanti liquidi



prevalentemente nelle pianure costiere attraversate dai fiumi Bruna, Ombrone e Albegna. Anche le pianure costiere della provincia di Livorno sono risultate particolarmente vocate alla coltivazione del girasole (circa 21.000 ha) e in misura minore della colza (circa 5.000 ha). Altre aree adatte alla produzione di colza e girasole sono localizzate a sud delle province di Siena (45.000 ha) e Arezzo (14.000 ha). In provincia di Pisa e Firenze, le aree vocate alla coltivazione delle due oleaginose sono localizzate nell'alta Val di Cecina, nell'alta Val d'Elza e nell'alta Val d'Era (*fig. 22*).

Per la produzione di bioetanolo sono risultate particolarmente vocate alla coltivazione di mais e frumento tenero le pianure a nord della provincia di Siena (circa 60.000 ha), la piana pisana (circa 39.000 ha), la Valle dell'Arno e il Mugello in provincia di Firenze (24.000 ha), la Valle dell'Arno e la Val di Chiana nella provincia di Arezzo (38.000 ha) e le zone pianeggianti delle province di Prato, Pistoia e Lucca (*fig. 22*).

Rese potenziali

Le rese potenziali stimate per le colture da destinare alla produzione di biocarburanti liquidi riflettono i livelli produttivi di frumento duro e girasole determinati, a livello provinciale, a partire dai dati ISTAT dal 2004 al 2007, ipotizzandone la coltivazio-

ne in asciutta. Le rese riportate nella *tab. 13*, e commentate nel testo, tengono conto dei valori massimi di umidità tecnica per la commercializzazione della granella delle rispettive colture (9% per le oleaginose, 15% per il mais e 14% per il frumento).

Per tutte le colture, i valori più elevati sono stati stimati nelle province a nord della regione, Massa Carrara e Lucca, dove la colza potrebbe raggiungere anche rese medie unitarie pari a circa 3,2 t/ha, il

Tab. 13 - Rese stimate delle colture destinate alla produzione di biocarburanti liquidi* (t/ha)

Province	Colza	Girasole	Frumento	Mais
Arezzo	2,3	2,5	2,7	6,8
Firenze	2,2	2,4	2,6	6,5
Grosseto	2,0	2,2	2,4	6,1
Livorno	2,7	2,9	3,2	8,0
Lucca	3,2	3,5	3,8	9,6
Massa Carrara	3,2	3,5	3,8	9,6
Pisa	2,6	2,9	3,2	7,9
Pistoia	2,3	2,6	2,8	7,0
Prato	2,9	3,2	3,5	8,8
Siena	2,1	2,3	2,5	6,3

* Le rese riportate tengono conto dei valori massimi di umidità tecnica per la commercializzazione della granella delle rispettive colture (9% per le oleaginose, 15% per il mais e 14% per il frumento).

girasole di 3,5 t/ha, il frumento di 3,8 t/ha e il mais di 9,6 t/ha. Anche nelle province di Pisa, Livorno e Prato sono stati stimati alti livelli di resa: circa 2,6-2,9 t/ha per la colza, 2,9-3,2 t/ha per il girasole, 3,2-3,5 t/ha per il frumento e 7,9-8,8 per il mais. Le rese più basse sono state stimate per le province di Grosseto e Siena, dove la colza potrebbe produrre in media circa 2,0-2,1 t/ha, il girasole circa 2,2-2,3 t/ha, il frumento 2,4-2,5 t/ha e il mais 6,1-6,3 t/ha (*tab. 13*).

Ipotesi di produzione

L'ipotesi di produzione di biocarburanti per il 2013 è stata basata su assunzioni di tipo agronomico e sui risultati ottenuti dall'analisi di scenario condotta per i biocombustibili solidi. Infatti è stato ipotizzato un ordinamento colturale che tiene conto anche dell'eventuale presenza di colture da biomassa lignocellulosica.

Quindi è stato supposto di destinare alle colture oleaginose da biodiesel non oltre il 20% delle superfici rimaste disponibili dopo l'inserimento delle colture lignocellulosiche, considerandolo un limite massimo determinato sostanzialmente dall'impossibilità di avvicendare colza e girasole con turni inferiori ai tre anni, per problemi di tipo fitosanitario e tenendo conto della possibile presenza negli ordinamenti colturali di colture foraggere. Lo stesso criterio è stato adottato anche per le colture da bioetanolo al solo scopo di poter direttamente comparare le due filiere dei combustibili liquidi.

Lo scenario elaborato per il 2013 ha permesso di evidenziare una produzione ipotetica di biodiesel maggiore nella provincia di Grosseto (16.300 t/anno), seguita dalle province di Pisa, Siena e Livorno, con valori rispettivi di produzione di 8.200, 7.800 e 5.693 t/anno. Arezzo e Firenze hanno presentato basse produzioni, con potenziali inferiori alle 3.000 t/anno, mentre le province di Lucca, Massa Carrara,

Prato e Pistoia sono risultate, in base ai criteri adottati, non vocate (*tab. 14*).

Per quanto riguarda la produzione di bioetanolo, sono risultate particolarmente vocate le province di Siena e Pisa (rispettivamente 15.600 e 12.900 t/anno), seguite da Arezzo, Grosseto e Firenze, con valori tra le 6.000 e le 9.000 t/anno. Nelle altre province sono state stimate produzioni contenute, inferiori alle 4.000 t/anno, particolarmente basse nel caso della provincia di Massa Carrara, data la scarsità di superfici da destinare in generale alle colture dedicate.

In base al valore energetico delle produzioni stimate, la provincia di Grosseto è risultata in assoluto la più produttiva, con più di 760.000 GJ/anno. Da segnalare anche le potenzialità delle province di Siena e Pisa che superano entrambe i 500.000 GJ/anno. Le province meno vocate sono risultate Lucca, Massa Carrara, Prato e Pistoia, con quantitativi inferiori a 90.000 GJ/anno. È possibile osservare nella *fig. 23* che le maggiori potenzialità per la produzione di energia a partire da biocombustibili liquidi sono riferibili alle aree del centro-sud della regione. In particolare, si può distinguere una zona centrale maggiormente vocata alla filiera del bioetanolo e una zona sud maggiormente vocata alla filiera del biodiesel.

1.4.3 Ipotesi di sfruttamento dei reflui zootecnici e dei residui delle coltivazioni ortive

Dato che la produzione di biogas si basa su soluzioni impiantistiche che valorizzano lo sfruttamento di risorse reperibili a scala aziendale o di piccolo comprensorio, per le piccole realtà zootecniche potrebbe risultare insostenibile l'istallazione di digestori anaerobici basati sulle tecnologie attualmente disponibili. I dati utilizzati non hanno permesso di discriminare le aziende in base alla dimensione, né di valutare la possibilità di integrare la produzione del

Tab. 14 - Stima del potenziale energetico dalla produzione ipotizzata per il 2013 di biodiesel e bioetanolo

Province	Biodiesel (t/anno)	Bioetanolo (t/anno)	Biodiesel (GJ/anno)	Bioetanolo (GJ/anno)
Arezzo	2.574	9.391	94.026	253.559
Firenze	2.386	5.681	87.542	153.397
Grosseto	16.325	6.142	603.616	165.828
Livorno	5.693	2.012	208.746	54.332
Lucca	0	2.534	0	68.416
Massa Carrara	0	355	0	9.582
Pisa	8.238	12.886	302.368	347.928
Pistoia	0	3.222	0	87.007
Prato	0	1.470	0	39.685
Siena	7.823	15.639	285.674	422.259
Totale Toscana	43.039	59.333	1.581.972	1.601.994

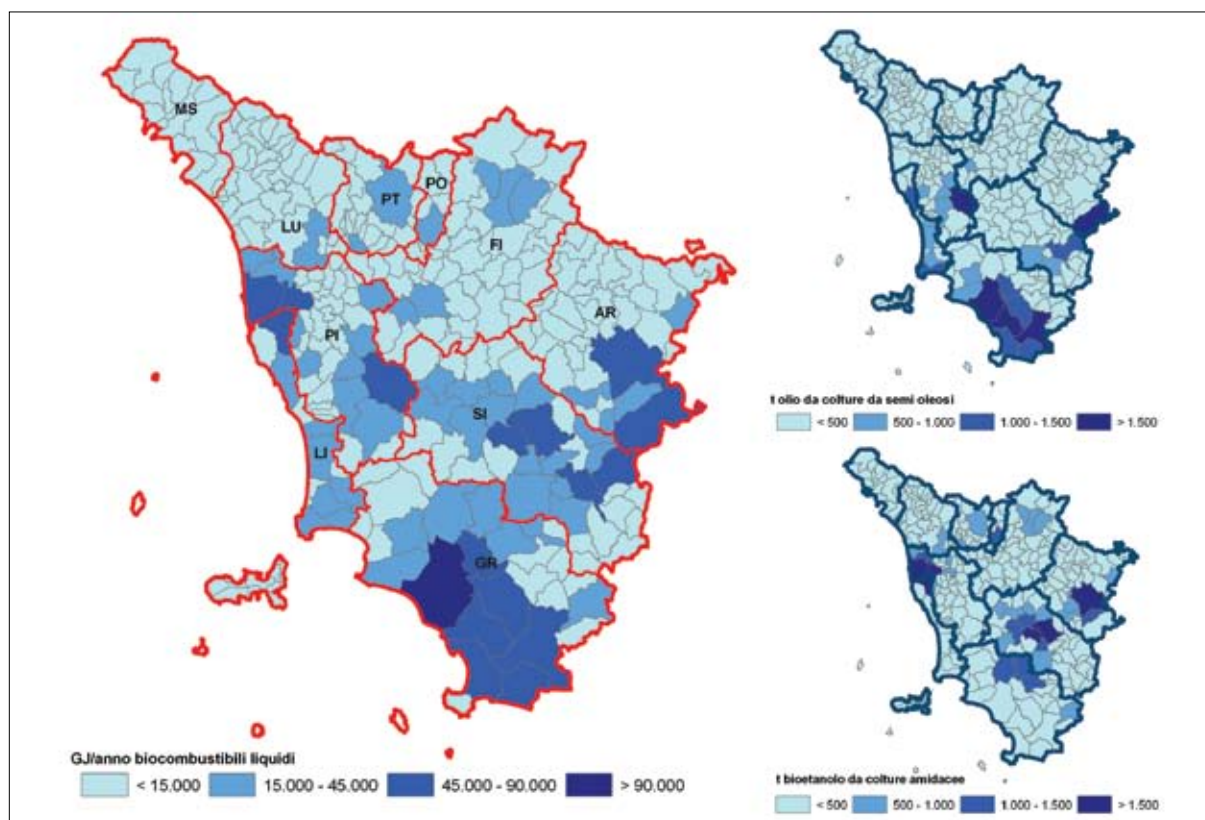


Fig. 23 - Potenziale energetico dei biocombustibili liquidi, espressa in GJ (a sinistra); produzione stimata al 2013 di olio (in alto, a destra) e di bioetanolo (in basso, a destra)

biogas con l'utilizzo di biomassa residua da altri settori o la possibilità di conferire a uno stesso impianto reflui e/o residui provenienti da aziende diverse. Per i residui delle colture ortive, la scala di studio adottata non ha permesso di individuare i comprensori di maggiore interesse economico, discriminandoli da produzioni frammentate e occasionali.

Ciò premesso, la produzione stimata per il 2013

si basa su l'ipotesi di sfruttamento del quantitativo totale dei reflui zootecnici e dei residui del comparto orticolo.

I risultati ottenuti hanno evidenziato una produzione totale di reflui zootecnici a livello regionale pari a circa 1.917.000 t, delle quali il 50% si concentra nelle province di Grosseto, (554.000 t) e Arezzo (396.000 t). Anche se la differenza osservata

Tab. 15 - Produzioni a scala provinciale, stimate in base allo scenario ipotizzato per il 2013, di reflui zootecnici destinabili alla trasformazione in biogas e relativa resa energetica

Province	Reflui di allevamenti bovini (t/anno)	Reflui di allevamenti suini (t/anno)	Reflui di allevamenti avicoli (t/anno)	Totale reflui di allevamenti (t/anno)	Totale reflui di allevamenti (GJ/anno)
Arezzo	207.648	183.613	4.967	396.227	147.201
Firenze	218.399	19.548	1.967	239.914	71.840
Grosseto	498.804	52.278	2.667	553.749	154.209
Livorno	31.793	8.146	594	40.533	20.067
Lucca	75.414	7.019	2.050	84.483	29.914
Massa Carrara	62.864	11.178	857	74.899	22.307
Pisa	128.946	72.414	10.443	211.804	104.258
Pistoia	29.257	11.493	895	41.646	18.706
Prato	9.914	660	175	10.749	3.451
Siena	200.007	58.967	4.431	263.405	92.598
Totale Toscana	1.463.046	425.317	29.045	1.917.409	664.550

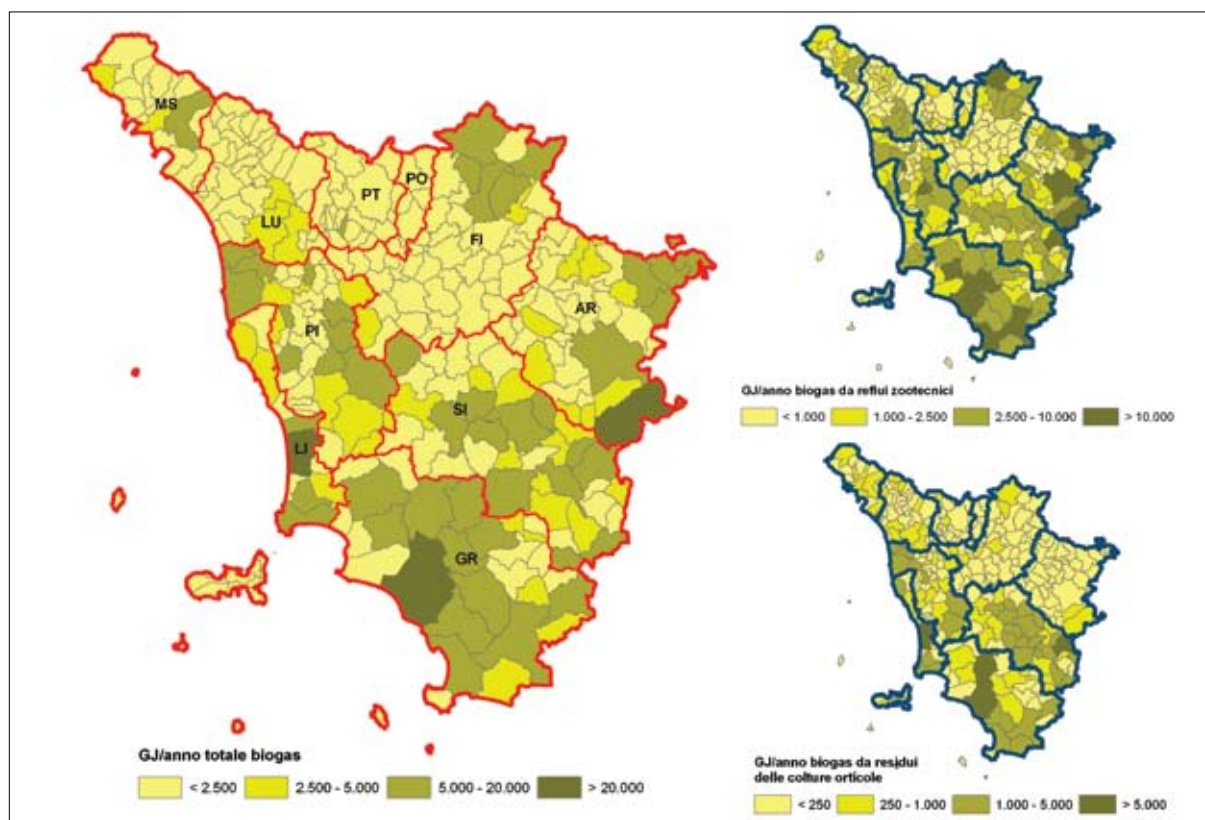


Fig. 24 - Energia potenziale da biogas a livello comunale nel 2013, espressa in GJ/anno (a sinistra). Stima del potenziale energetico da biogas prodotto da reflui zootecnici (in alto, a destra) e da residui del comparto orticolo (in basso, a destra)

tra le due province è piuttosto consistente in termini di massa, valutando la potenzialità energetica è stato riscontrato che Grosseto potrebbe produrre circa 154.000 GJ/anno, mentre Arezzo avrebbe una potenzialità di poco inferiore e pari a circa 147.000 GJ/anno. A livello regionale il potenziale energetico del biogas producibile da reflui zootecnici è pari a circa 665.000 GJ/anno (*tab. 15*).

Il biogas producibile a partire dai residui delle colture ortive (*tab. 16*) è risultato piuttosto ridotto. Infatti, a livello regionale, essi ammontano a circa 56.600 t s.s., pari a una resa energetica in biogas di circa 171.000 GJ/anno. In questo caso le potenzialità maggiori sono state riscontrate nelle province di Siena e Livorno (rispettivamente il 31% e il 25% del potenziale regionale). La *fig. 24* riporta la distribuzione dei quantitativi massimi potenziali che sono stati stimati per ciascun comune.

1.4.4 Ipotesi di sfruttamento delle biomasse residue agroindustriali

Lo scenario di produzione di energia a partire dai residui agroindustriali, ipotizzato per il 2013, è

Tab. 16 - Produzioni stimate in base allo scenario ipotizzato per il 2013, di residui del comparto orticolo destinabili alla trasformazione in biogas e la relativa resa energetica

Province	Residui leguminose secche e ortive (t s.s./anno)	Residui leguminose secche e ortive (GJ/anno)
Arezzo	1.181	3.566
Firenze	1.652	4.987
Grosseto	10.214	30.834
Livorno	14.357	43.341
Lucca	1.921	5.799
Massa Carrara	1.430	4.316
Pisa	7.707	23.264
Pistoia	528	1.594
Prato	17	51
Siena	17.604	53.142
Totale Toscana	56.611	170.894

basato sull'ipotesi di utilizzo dei quantitativi massimi stimati, poiché a monte della filiera vi sono delle soluzioni logistiche che sono peculiari per ogni realtà aziendale e quindi non valutabili alla scala adottata nel presente studio. Comunque, le diverse

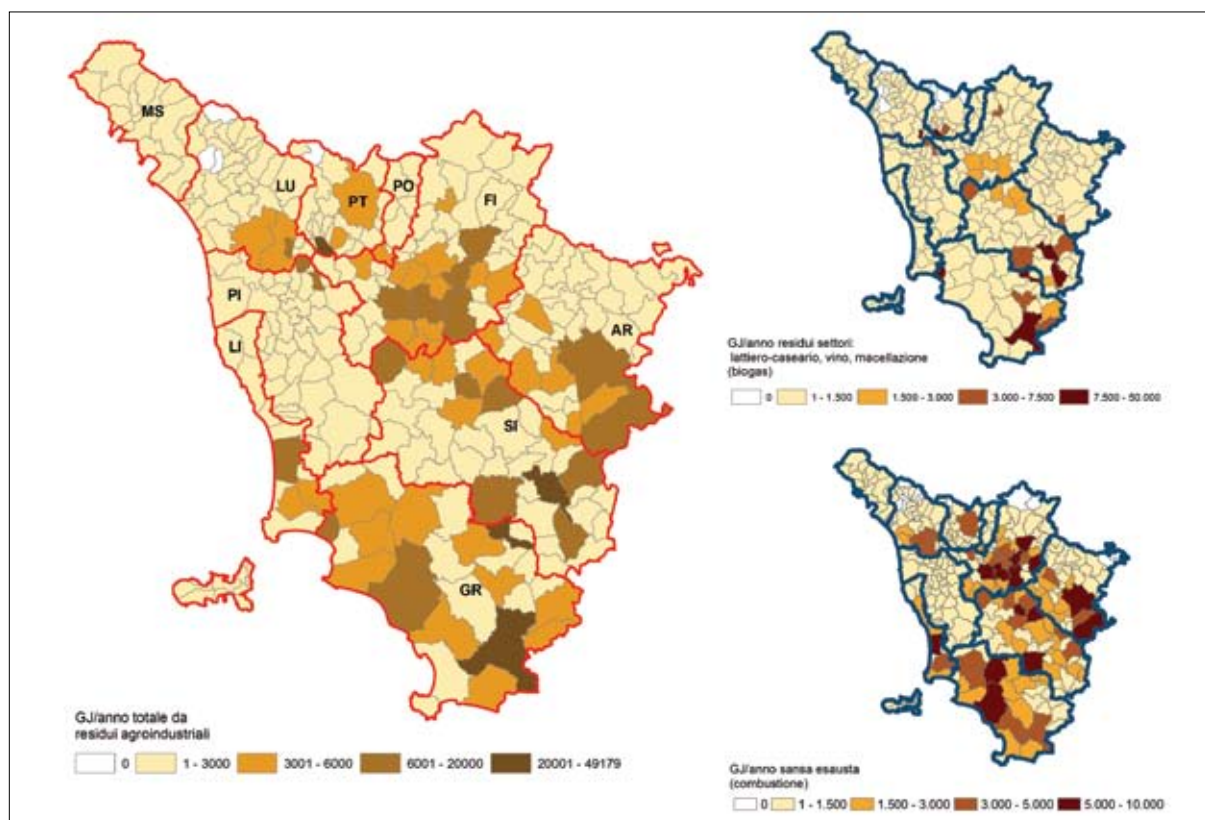


Fig. 25 - Energia potenziale dei residui agroindustriali a livello comunale nel 2013, espressa in GJ/anno (a sinistra). Stima del potenziale energetico del biogas prodotto a partire da residui agroindustriali liquidi (in alto, a destra) e della combustione della sansa esausta (in basso, a destra)

tipologie di residuo sono state discriminate in base ai processi di conversione a valle della filiera: per i residui ad alto contenuto di umidità (fanghi di depurazione della macellazione e dell'industria del vino, siero dei caseifici e dell'industria del latte) è stata ipotizzata la conversione in biogas, mentre per le sansi esauste è stata prevista la combustione.

A livello regionale il quantitativo totale dei residui agroindustriali è risultato pari a circa 276.000 t. Le province di Siena e Grosseto, insieme producono circa il 50% del totale regionale; 72.000 t/anno e 70.000 t/anno rispettivamente (*tab. 17*).

Considerando le diverse tipologie di residui, è emersa una maggiore disponibilità di siero dal set-

Tab. 17 - Residui agroindustriali destinabili alle filiere agrienergetiche in base allo scenario ipotizzato per il 2013

Province	Residui agroind. (filiera biogas) (t/anno)	Sansa esausta (filiera combust.) (t/anno)	Totale residui agroindustriali (t/anno)	Residui agroind. (filiera biogas) (GJ/anno)	Sansa esausta (filiera combust.) (GJ/anno)	Totale residui agroindustriali (GJ/anno)
Arezzo	9.348	3.260	12.609	9.176	52.167	61.343
Firenze	24.651	6.015	30.666	24.982	96.247	121.229
Grosseto	66.493	3.455	69.948	63.964	55.279	119.243
Livorno	3.869	1.710	5.578	3.942	27.357	31.299
Lucca	10.500	913	11.413	10.053	14.607	24.660
Massa	1.177	245	1.422	1.208	3.917	5.125
Pisa	13.034	723	13.757	12.726	11.569	24.295
Pistoia	57.580	746	58.327	54.749	11.941	66.690
Prato	387	394	781	397	6.300	6.697
Siena	67.572	4.511	72.082	66.242	72.168	138.410
Totale Toscana	254.611	21.972	276.583	247.439	351.552	598.991

tore lattiero-caseario (circa 180.000 t/anno, pari al 65% della massa totale di residui), rispetto ai fanghi residui della lavorazione del vino, che costituiscono la seconda tipologia di residui per consistenza del volume (73.000 t/anno, pari al 26% della massa totale) e alle altre categorie (23.600 t/anno).

La potenzialità energetica dei residui agroindustriali dell'intera regione è risultata pari a circa 600.000 GJ/anno. Nelle province di Siena, Grosse-

to e Firenze è stata riscontrata una potenzialità nettamente superiore a quella delle altre province. Esse infatti potrebbero garantire un potenziale lordo di circa 380.000 GJ/anno (60% del totale regionale), ripartito equamente tra le tre province.

Il 58% del potenziale energetico regionale (circa 350.000 GJ/anno) da residui agroindustriali potrebbe essere garantito dalle sole sanse esauste, a causa dell'elevato valore energetico del materiale.

2. I comparti forestale e di prima trasformazione del legno

Iacopo Bernetti, Claudio Fagarazzi, Sandro Sacchelli, Christian Ciampi

CREAR - Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili

2.1 Introduzione

In riferimento al settore forestale, le opportunità offerte dai nuovi impianti di riscaldamento e di elettrogenazione unite alla possibilità per le imprese del settore legno, di passare dalla mera commercializzazione del prodotto ligneo, alla gestione dell'intera filiera energetica, offrono nuove possibilità sia per la commercializzazione dei prodotti forestali sia per la rivitalizzazione dell'intera filiera legno.

Obiettivo del presente lavoro è la stima delle potenzialità produttive "annue" di biomasse forestali del territorio regionale e della domanda "annua" di biomasse generata dagli impianti di trasformazione (termici e termoelettrici) attualmente presenti in Toscana.

Lo studio si è articolato attraverso una successione di fasi; innanzitutto, essendo uno studio fondato sull'applicazione di modelli geografici, è stato necessario strutturare un Sistema Informativo Territoriale su base regionale in grado di implementare al suo interno tutte le informazioni utili alla definizione dell'offerta potenziale di agroenergie e della domanda potenziale. Successivamente, sono state stimate le superfici boschive disponibili per le utilizzazioni forestali, le superfici classificabili come formazioni riparie, quelle riconducibili alla presenza di impianti di arboricoltura da legno realizzati con il Regolamento CE 2080/92 e le alberature delle aree urbane.

A questo punto è stato necessario stimare le produttività, per unità di superficie o per singolo albero nel caso delle alberature urbane, dei soprassuoli forestali e delle suddette superfici, tenendo conto di quelli che sono gli accrescimenti di ogni specie, la forma di governo e le corrispondenti produttività di residui e assortimenti tradizionali ad uso energetico.

Nella fase successiva è stato quindi sviluppato un

modello di stima della produttività complessiva dei soprassuoli forestali capace di considerare le produttività annue generate dalle sole superfici a macchiatico positivo dell'intero contesto regionale, ovvero, in grado di considerare modelli di costo di produzione e trasporto (Bernetti & Fagarazzi, 2003).

Infine, nell'ultima fase del lavoro (vedi *Allegati 11, 12 e 13*), è stata stimata la domanda energetica generata dagli impianti a biomassa attualmente installati nel territorio regionale e previsti agli anni 2009 e 2013.

2.2 Metodologia

Allo scopo di stimare le quantità di residui potenzialmente ritraibili dai soprassuoli forestali, dalle ripuliture degli alvei fluviali e dalle potature del verde urbano sono stati utilizzati dei modelli ecologici, tecnici ed economici che, in relazione alle caratteristiche locali, fossero in grado di definire i seguenti aspetti:

- quantità di assortimenti tradizionali e di residui producibili dalle diverse tipologie forestali (comprensivi della quota derivante dalle utilizzazioni finali e dai tagli intercalari). La stima si riferisce a scenari attuali (2007) e a valutazioni future (calcolo delle quantità di legno ad uso energetico ottenibile al 2013);
- quantità dei residui derivanti dalla manutenzione degli alvei fluviali;
- quantità dei residui derivanti dalla potatura del verde urbano.

A tali modelli si è poi aggiunta una valutazione in grado di stimare, in relazione ai dati censuari dell'industria del legno, la produzione di residui di prima e seconda lavorazione generati da tale settore manifatturiero.

Relativamente ai risultati, è stato necessario aggregarli a livello comunale, in quanto alcuni strati informativi sono forniti dagli Istituti centrali esclusivamente su base comunale (ad esempio, *Censimento dell'industria e dei servizi*).

Trattandosi di uno studio su base regionale e vista la radice comune delle metodologie impiegate nello sviluppo del progetto, rappresentata dall'applicazione di modelli geografici, il primo passo è stato quello di costruire uno specifico Sistema Informativo Territoriale (SIT) finalizzato alla stima delle risorse disponibili e all'identificazione della vocazionalità del territorio alla strutturazione di distretti bioenergetici.

Il SIT è stato organizzato sulla base dei seguenti strati informativi, funzionali alle successive elaborazioni e analisi:

- Copertura CORINE Land Cover (CLC) 2000 della Toscana al IV livello (V livello per i boschi misti) aggiornato, per le aree boscate e gli ambienti seminaturali, al 2004
- Inventario Forestale della Toscana (IFT), implementato con gli strati informativi relativi alla classificazione in tipologie forestali
- Modello digitale del terreno (DTM) con risoluzione del pixel di 75x75 metri
- Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000
- Limiti amministrativi comunali
- Centri e nuclei urbani
- *Censimento dell'industria e dei servizi*, ISTAT 2001
- Carta delle superfici agricole soggette a impianti di specie arboree ai sensi del Reg. CE 2080/92
- Carta della localizzazione degli impianti di riscaldamento a biomassa (ARSIA).

2.3 Produttività di residui generati dalle formazioni forestali

Stima delle superfici boscate

Per poter procedere alla definizione dei modelli ecologico-economici utili a definire la produttività potenziale di biomasse residuali delle superfici forestali toscane, è stato necessario individuare le diverse tipologie forestali presenti sul territorio e l'entità delle superfici da esse occupate. In relazione alle diverse tipologie di soprassuolo presenti, sarà infatti possibile definire le produttività medie annue per ettaro di residui forestali. Per questo, ci siamo avvalsi dell'archivio CORINE Land Cover 2000 della Toscana al IV livello (V livello per i boschi misti), che ha permesso di identificare le seguenti tipologie di uso del suolo:

- 3.1.1.1 Bosco a prevalenza di leccio e sughera
- 3.1.1.2 Bosco a prevalenza di querce caducifoglie
- 3.1.1.3 Bosco a prevalenza di latifoglie mesofile
- 3.1.1.4 Bosco a prevalenza di castagno
- 3.1.1.5 Bosco a prevalenza di faggio
- 3.1.1.6 Bosco a prevalenza di specie igrofile
- 3.1.1.7 Bosco a prevalenza di latifoglie non native
- 3.1.2.1 Bosco a prevalenza di pini mediterranei
- 3.1.2.2 Bosco a prevalenza di pini montani e/o oromediterranei
- 3.1.2.3 Bosco a prevalenza di abete bianco e/o abete rosso
- 3.1.2.5 Bosco a prevalenza di conifere non native
- 3.1.3.1.1 Boschi misti a prevalenza di leccio
- 3.1.3.1.2 Boschi misti a prevalenza di querce caducifoglie
- 3.1.3.1.3 Boschi misti a prevalenza di latifoglie mesofile
- 3.1.3.1.4 Boschi misti a prevalenza di castagno

Tab. 1 - Superficie forestale totale e indice di boscosità provinciale e regionale

<i>Province</i>	<i>Superficie totale (ha)</i>	<i>Superficie boscata (ha)</i>	<i>Indice di boscosità - IS</i>
Arezzo	323.420	167.276	52%
Firenze	351.337	168.021	48%
Grosseto	450.503	160.075	36%
Livorno	121.418	41.203	34%
Lucca	177.373	111.150	63%
Massa Carrara	115.512	77.871	67%
Pisa	244.470	79.989	33%
Pistoia	96.439	56.872	59%
Prato	36.586	20.675	57%
Siena	381.983	149.489	39%
<i>Totale Toscana</i>	<i>2.299.040</i>	<i>1.032.619</i>	<i>45%</i>

- 3.1.3.1.5 Boschi misti a prevalenza di faggio
- 3.1.3.1.6 Boschi misti a prevalenza di specie igrofile
- 3.1.3.1.7 Boschi misti a prevalenza di latifoglie non native
- 3.1.3.2.1 Boschi misti a prevalenza di pini mediterranei
- 3.1.3.2.2 Boschi misti a prevalenza di pini montani e/o oromediterranei
- 3.1.3.2.3 Boschi misti a prevalenza di abete bianco e/o abete rosso
- 3.1.3.2.5 Boschi a prevalenza di conifere non native
- 3.2.3.1 Macchia alta.

Dall'esame del CLC, è emersa una distribuzione delle superfici forestali secondo quanto illustrato in *tab. 1*.

2.3.1 Modellizzazione dell'offerta per unità di superficie di risorse forestali

Per stimare l'offerta di prodotti legnosi derivanti dalle risorse forestali è necessario considerare parametri di ordine ecologico, economico e tecnico-organizzativo.

In prima istanza risulta pertanto necessario definire la quantità massima di materiale legnoso che è possibile prelevare da ciascuna tipologia forestale in funzione delle condizioni stazionali in cui ricade e delle forme di gestione alle quali è sottoposta.

Basandoci su principi di sostenibilità ormai universalmente riconosciuti dalla comunità scientifica, affinché un sistema economico possa definirsi sostenibile è necessario che il tasso di prelievo di risorse naturali rinnovabili (t) sia inferiore, o al mas-

simo uguale, al tasso di accrescimento della risorsa (r), ovvero $t \leq r$. Ne consegue che la produttività massima sostenibile di un soprassuolo forestale durante il suo ciclo di vita coincide con il suo tasso di accrescimento.

Per stimare tale parametro, è necessario esaminare le curve di accrescimento specifiche per ogni popolamento forestale. Si tratta di funzioni di accrescimento caratterizzate da un andamento sigmoidale del tipo illustrato in *fig. 1*. Dall'esame della funzione di accrescimento possiamo verificare che l'incremento delle formazioni arboree presenta un tasso di sviluppo progressivamente crescente nelle prime fasi di vita, cui segue una fase di progressiva riduzione dovuta all'aumento di concorrenza intra e interspecifica, che si conclude con il raggiungimento della c.d. capacità di carico (K).

Il tasso di accrescimento di biomassa, oltre a dipendere da fattori intrinseci delle formazioni arboree (esigenze ecologiche) e da caratteristiche stazionali, dipende anche dallo *stock* di biomassa, per cui può essere valutato anche in funzione di tale parametro; in questo caso, la relazione esistente tra stock e tasso di accrescimento, rappresentata in *fig. 2*, evidenzia che la produzione annua di uno specifico soprassuolo, aumenta fino al livello di stock che genera il prodotto massimo sostenibile, per poi decrescere fino alla massima capacità di carico ambientale.

Questa curva, detta di Shafer, è inoltre rappresentativa del cosiddetto *trade off* tra economia e ambiente (Bernetti & Romano, 2007): i valori qui riportati infatti, considerano sia la produttività media annua dei popolamenti forestali, sia lo *stock* di biomassa, andando a caratterizzare da un lato gli aspetti della sfera privatistica (massimizzazione o ottimizzazione del profitto dell'imprenditore forestale attraverso il prelievo di prodotto in corrispondenza della

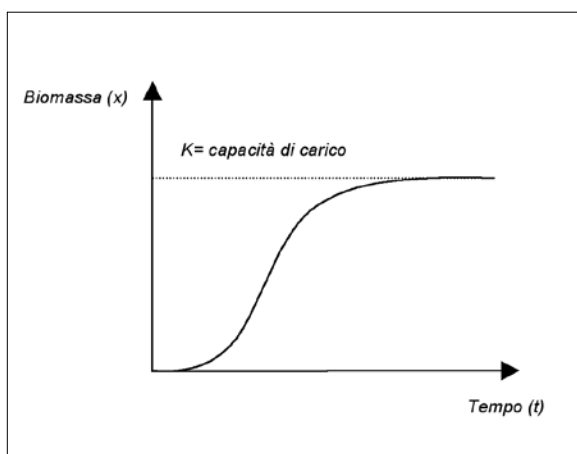


Fig. 1 - Curva logistica di accrescimento delle formazioni forestali

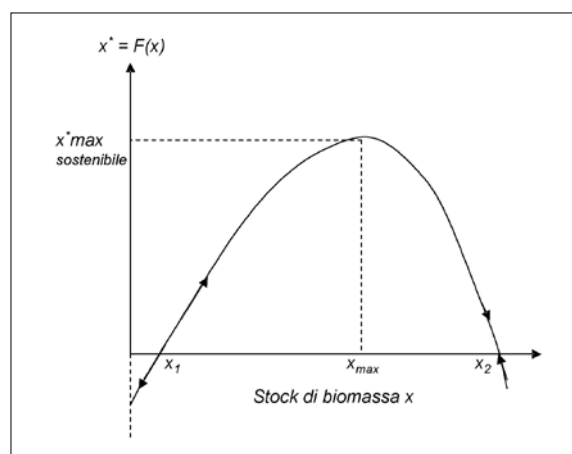


Fig. 2 - Relazione tra tasso di accrescimento della biomassa e stock di biomassa

provvigione $x_1 < x_i < x_2$) e, dall'altro lato, il valore ambientale intrinseco delle aree forestali (aumento o diminuzione della quantità di biomassa con relativa variazione di biodiversità specifica e strutturale, protezione idrogeologica, stoccaggio di carbonio ecc.).

I valori limiti di *stock* di biomassa di una cenosi forestale, sono evidenziati dai punti x_1 e x_2 della curva di Shafer, nei quali il tasso di accrescimento è pari a 0; la differenza tra i due valori consiste nel fatto che, se il primo (x_1) indica il livello di provvigione al di sotto del quale il popolamento rischia l'estinzione, il secondo (x_2) è rappresentativo di un equilibrio stabile, poiché all'aumentare dello *stock* si tende a raggiungere nuovamente il punto di produttività nullo.

Le condizioni sopra descritte possono essere – ad esempio – ricondotte a soprassuoli assestati, cioè che riescono a fornire un prodotto legnoso annuo e costante. In particolare, il modello impiegato per valutare l'offerta ottimale di prodotto legnoso per unità di superficie, fa riferimento a boschi coetanei nei quali la produzione viene stimata considerando il turno consuetudinario praticato per le diverse specie forestali e per le diverse tipologie di governo del bosco. Benché i modelli tradizionalmente impiegati per la definizione dell'offerta unitaria facciano riferimento a modelli di ottimizzazione del turno (Newmann, 1988; Reed, 1986; Bernetti, 1998) si è preferito considerare i turni consuetudinari in quanto maggiormente rappresentativi delle realtà socio-economiche locali e delle relative capacità produttive delle superfici forestali. La definizione del turno e del corrispondente *stock* di risorsa (provvigione), ha quindi permesso la stima, per ogni tipologia di bosco, dell'offerta media annua per unità di superficie.

Una condizione del genere – ad esempio – è raggiungibile nel caso dei boschi particellari coetanei, attraverso l'applicazione di metodi di assestamento di tipo planimetrico spartitivo. L'applicazione di tale metodo, consiste nella suddivisione del bacino di utilizzazione di superficie pari a S , in T aree di ampiezza pari a S/T , dove T rappresenta il turno della specie arborea che costituisce il bacino di utilizzazione. Ciò significa che se il complesso forestale sarà strutturato in modo da avere un numero di particelle della medesima superficie ed età progressivamente crescente fino all'età massima T , esse saranno in grado di fornire un

prodotto annuo per ettaro, dato dal rapporto fra la provvigione della T_q -esima particella che annualmente cade al taglio e il turno T_q di ciascuna tipologia di bosco q . Avremo inoltre uno *stock* di risorse per ettaro dato dalla sommatoria degli incrementi medi delle (T_q-1) -esime particelle.

Per giungere a una stima del valore degli assortimenti ritraibili da ciascuna tipologia forestale, è stato quindi necessario definire:

- Produttività media annua, ovvero, incremento medio annuo di ciascuna tipologia di bosco relativamente ai turni consuetudinari praticati nel contesto esaminato (Bernetti & Fagarazzi, 2003);
- La ripartizione percentuale degli assortimenti ritraibili (Bernetti & Fagarazzi, 2003), (*tabb. 2a-2b*);
- Il prezzo indicativo per ciascun assortimento ritraibile (AA.VV., 2007c).

2.3.2 Definizione della produttività e della ripartizione assortimentale per tipologia forestale

Come anticipato, il database utilizzato per la definizione delle classi di uso del suolo forestale a livello regionale, è rappresentato, dalla cartografia CORINE Land Cover¹. Gli strati informativi di questo database, pur rappresentando la cartografia di uso del suolo forestale più aggiornata a livello regionale, non riportano la produttività per ciascuna classe; a tal fine si è proceduto a un'implementazione dei valori alfanumerici del *layer* utilizzato, attraverso l'incrocio con i dati riportati sull'Inventario Forestale Toscano (IFT).

L'Inventario Forestale Toscano contiene infatti, oltre alle cartografie relative all'uso del suolo, le specie forestali principali e secondarie con i relativi dati dendrometrici, il grado di copertura delle chiome e la forma di governo. Tali elaborati sono stati creati con la sovrapposizione di cartografie di base (tavole IGM 1:25.000) e tematiche (carte geologiche, climatiche ecc.) ottenendo così una Carta della vegetazione forestale reale e una di quella potenziale.

Sulla base dei dati dell'IFT sono state effettuate elaborazioni che hanno portato alla determinazione, per le varie tipologie forestali² individuate dall'IFT, delle relative produttività potenziali sia in

¹ La categoria “boschi misti” rappresentata dal V livello della Cartografia CORINE Land Cover è stata raggruppata in un unico insieme (codice 313), poiché non è stato possibile differenziare le caratteristiche produttive e i rendimenti di lavorazione per tali categorie (il dettaglio del database è rappresentato dunque dal IV livello per i boschi puri e dal III per i misti).

² I tipi forestali sono unità di vegetazione forestale omogenee dal punto di vista floristico, ecologico ed evolutivo. Giovanni Bernetti e Gian Paolo Mondino hanno classificato i boschi e gli arbusteti della Toscana in 88 tipi raggruppati in 22 categorie. Scopo della classificazione è quello di coadiuvare gli interventi di pianificazione forestale e di politica territoriale.



1. Legna da ardere di diverse pezzature derivante da boschi cedui



2. Materiale ottenuto dall'utilizzazione di un soprassuolo destinato prevalentemente alla cippatura

termini di assortimento principale, sia in termini di residuo (Bernetti & Fagarazzi, 2003).

Originariamente, l'individuazione e la mappatura delle sopraindicate tipologie forestali è avvenuta tramite operazione di selezione e sovrapposizione cartografica (*map overlay*) effettuate sul Sistema Informativo Territoriale andando a combinare, con specifiche regole, i seguenti strati informativi (*layer*) (Bernetti & Fagarazzi, 2003):

- Inventario Forestale Toscano (specie legnosa principale, specie accessorie, tipo di bosco – ceduo, fustaia ecc.);
- carta altimetrica, carta delle pendenze e carta delle esposizioni (derivanti da DTM);
- carta geologica;
- carta dei tipi climatici;
- carta dei sistemi di paesaggio in unità di Sestini.

Riassumendo ciò che è stato descritto in precedenza, ogni tipologia forestale presenta una propria caratteristica produttività, in base alle esigenze ecologiche della specie e ai fattori stazionali dell'area in cui ricade. Tale produttività è espressa dalla curva di accrescimento che, in combinazione con la curva di Shafer, consente la definizione della produzione massima annua di biomassa prelevabile con criteri di sostenibilità da un particolare popolamento forestale.

Per ciascuna tipologia forestale, inoltre, è stato possibile considerare, sulla base delle osservazioni effettuate direttamente sui cantieri di utilizzazione, il mix di assortimenti maggiormente diffusi sul ter-

ritorio regionale (legname da opera, paleria, legna da ardere, residui ecc.) (*foto 1 e 2*).

La fase successiva ha previsto l'attribuzione dei valori di incremento e di ripartizione assortimentale alla cartografia CORINE Land Cover di IV livello³. Per procedere in tal senso, è stato inizialmente attribuito un valore medio, per le due variabili suddette, a livello comunale, calcolandone la media ponderata dei punti inventariali IFT ricadenti all'interno dei confini amministrativi stessi e appartenenti a una medesima "*specie prevalente*"; sono seguite una serie di operazioni di spazializzazione (*summarize spaziale*), che hanno permesso di calcolare i valori di incremento medio annuo prelevabile e la ripartizione assortimentale, per ciascun poligono CLC (categoria di uso del suolo forestale) in funzione sia del comune di appartenenza, che dei dati IFT a esso riconducibili (sempre in base alla classificazione "*specie prevalente*" dell'Inventario Forestale).

La schematizzazione delle relazioni tra il codice CLC e le tipologie IFT con i relativi valori di incremento e ripartizione assortimentale, sono riportate nelle *tabb. 2a e 2b*.

È opportuno sottolineare che per definire l'effettiva produttività di ogni area boscata è stata considerata anche la densità di ciascun soprassuolo. Tale parametro è stato considerato attraverso una operazione di *spatial analysis* che ha preso in considerazione la variabile "Grado di Copertura" presente sull'Inventario Forestale Toscano.

Le valutazioni effettuate, come già accennato,

³ I vari poligoni CLC sono stati tagliati sui confini comunali attraverso un'operazione di *map overlay*, in maniera tale da poter attribuire a ciascun comune sia l'effettiva superficie forestale ricadente al proprio interno, che i diversi strati informativi correlati (incrementi, assortimenti ecc.).

Tab. 2a - Incrementi medi annui prelevabili e ripartizione assortimentale per classe di uso del suolo forestale

Codice CLC	Tipologia forestale IFT	Forma di governo o specie prevalente	Incremento medio annuo** (mc/ha • anno)	Assortimenti ritraibili (%)					
				Tondame da sega	Palone	Imballaggio	Paleria	Legna da ardere	Residui
3111	Leccio macchia	—	1,5	0	0	0	0	77	23
	Orno-lecceta	—	2						
	Lecceta rupicola relitta	—	0						
	Lecceta a viburno	—	4,8						
	Lecceta di transizione	—	1,7						
3112	Mesotermofila (roverella)	—	3,5	0	0	0	0	77	23
	Mesofila (roverella)	—	4,6						
	Mesoxerofila (roverella)	—	4,6						
	Acidofila (roverella)	—	4,6						
	Termofila (roverella)	—	4,6						
	Eutrofica (cerro)	—	6,6						
	Mesofila collinare (cerro)	—	4,6						
	Mesoxerofila (cerro)	—	2,3						
	Acidofila montana (cerro)	—	2,3						
	Acidofila su terrazzi (cerro)	—	4,6						
	Acidofila submediterranea (cerro)	—	4,6						
	Mesofila planiziale (cerro)	—	6,6						
	Querceto (cerro)	—	6,6						
	Termoigrofila (cerro)	—	6,6						
3113	—	—	2,5	0	0	0	0	80	20
3114	Mesofilo (castagno)	—	7,6	32	38	0	10	0	20
	Vulcanofilo (castagno)	—	9,5	40	30	0	10	0	20
	Acidofilo (castagno)	—	5,7	0	0	0	80	0	20
	Neutrofilo (castagno)	—	4	0	0	0	80	0	20
3115	Eutrofico (faggio)	Ceduo	4,2	0	0	0	0	72	28
		Fustaia	1,44	0	0	0	0	92	8
	Mesofilo (faggio)	Ceduo	5,2	0	0	0	0	72	28
		Fustaia	1,8	0	0	0	0	92	8
	Oligotrofico (faggio)	—	0	0	0	0	0	0	0
	Oligotrofico a cerro (faggio)	—	0	0	0	0	0	0	0
	Amiatina superiore (faggio)	Ceduo	2,2	0	0	0	0	72	28
		Fustaia	0,72	0	0	0	0	92	8
	Amiatina inferiore (faggio)	Ceduo	5,2	0	0	0	0	72	28
		Fustaia	1,8	0	0	0	0	92	8
	Apuana EO (faggio)	—	0	0	0	0	0	0	0
	Apuana N (faggio)	Ceduo	3,6	0	0	0	0	72	28
		Fustaia	1,08	0	0	0	0	92	8

** Il calcolo degli incrementi medi annui è avvenuto con l'utilizzo delle tavole alsometriche delle diverse tipologie forestali (suddivise per classi di fertilità) presenti sul territorio regionale. Nel caso in cui la classe di uso del suolo dell'IFT non presentasse una suddivisione in range di fertilità, il valore attribuito rappresenta un dato medio dei soprassuoli della Toscana derivato da tavole alsometriche. Per quanto riguarda la definizione della ripartizione assortimentale, il riferimento è rappresentato dalla classificazione effettuata per il progetto BIOSIT (Bernetti & Fagarazzi, 2003).

hanno stimato da un lato la produzione legnosa dal punto di vista prettamente ecologico, mentre dall'altro gli assortimenti ritraibili sono stati definiti attraverso l'implementazione di fattori di natura economica.

Nel caso dell'analisi della produttività in termini

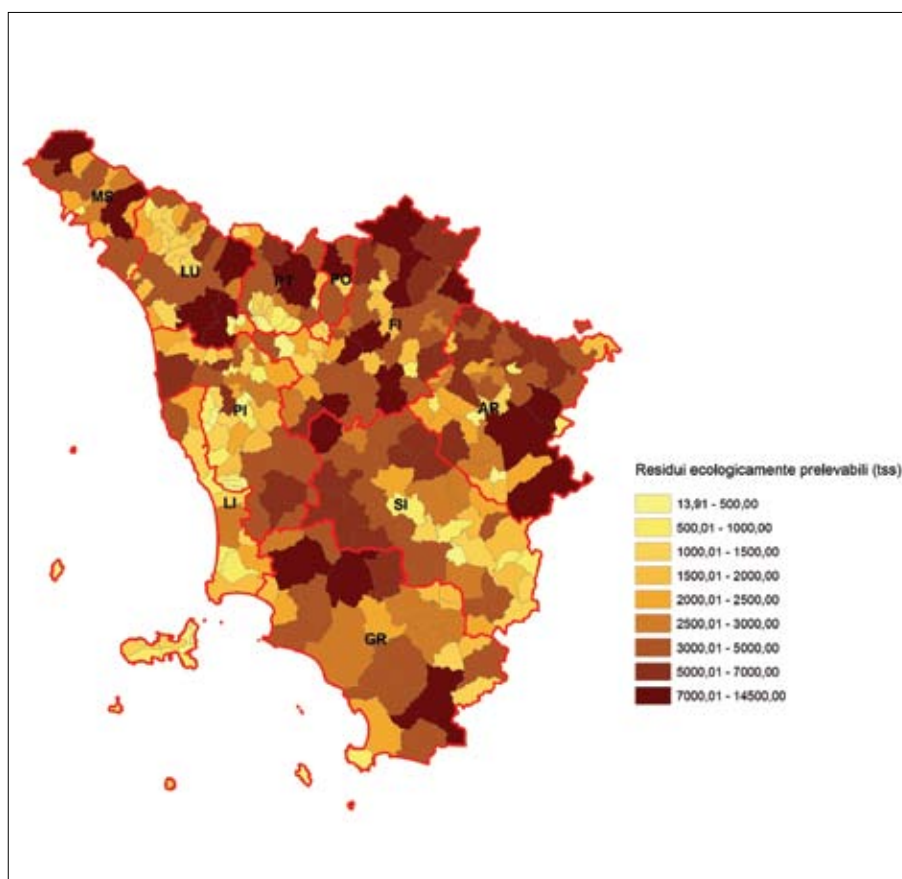
ecologici, gli incrementi legnosi annui sono stati definiti in funzione della metodologia illustrata precedentemente. L'unico vincolo relativo alla quantificazione del materiale legnoso asportabile è rappresentato dall'esclusione delle superfici boscate ricadenti in aree con pendenza superiore al 70%. Questo limite è stato

Tab. 2b - Incrementi medi annui prelevabili e ripartizione assortimentale per classe di uso del suolo forestale

Codice CLC	Tipologia forestale IFT	Forma di governo o specie prevalente	Incremento medio annuo** (mc/ha • anno)	Assortimenti ritraibili (%)					
				Tondame da sega	Palone	Imballaggio	Paleria	Legna da ardere	Residui
3117	—	—	6	0	0	0	0	74	26
3121	—	Pino d'Aleppo	4	50	0	27	0	0	23
	—	Cipresso	14						
	—	Pino d'Aleppo	16						
3122	Eutrofici (pini montani)	—	12	39	0	45	0	0	16
	Neutro acidolini (pini montani)	—	9,5	24	0	50	0	0	26
	Neutro basifili (pini montani)	—	7,3	23	0	50	0	0	27
3123	Abetina altimontana (abete bianco)	—	9,18	53	0	33	0	0	14
	Abetina montana (abete bianco)	—	13						
	Sottoquota & "dell'Amiata" (abete bianco)	—	9						
	—	Abete rosso	11						
3125	—	—	11	30	0	30	0	0	40
3231	—	—	1,5	0	0	0	0	77	23

** Il calcolo degli incrementi medi annui è avvenuto con l'utilizzo delle tavole alsometriche delle diverse tipologie forestali (suddivise per classi di fertilità) presenti sul territorio regionale. Nel caso in cui la classe di uso del suolo dell'IFT non presentasse una suddivisione in range di fertilità, il valore attribuito rappresenta un dato medio dei soprassuoli della Toscana derivato da tavole alsometriche. Per quanto riguarda la definizione della ripartizione assortimentale, il riferimento è rappresentato dalla classificazione effettuata per il progetto BIOSIT (Bernetti & Fagarazzi, 2003).

Fig. 3 - Residui legnosi ecologicamente prelevabili a livello comunale (t s.s./anno)



considerato come la soglia oltre la quale i boschi assumono una funzione prettamente protettiva, per cui in tali aree è opportuno limitare le operazioni selvicolturali e le utilizzazioni forestali.

I dati relativi alla potenzialità produttiva dal punto di vista ecologico (*fig. 3, Allegati 4 e 5*), sono pertanto dei valori di massima, in quanto non considerano fattori di ordine economico come costi di produzione, ricavi ecc. La produzione ecologicamente sostenibile include quindi anche aree che, per effetto degli elevati costi produttivi, avranno valori di macchiatico negativo. Nei paragrafi successivi la valutazione dell'offerta potenziale di biomassa prenderà invece in considerazione anche tali aspetti.

2.3.3 Stima dell'offerta aggregata relativa di assortimenti legnosi e valutazione delle superfici utilizzabili

Il modello di offerta aggregata applicato nel presente studio, è rappresentato da un modello di lungo periodo in cui viene fatto riferimento allo *stock* di capitale naturale desiderato e al tasso di prelievo sostenibile (Bernetti, 1998). Il modello, nel caso specifico, si presta quale strumento di pianificazione di lungo periodo che risponde a problematiche quali la capacità di supportare determinati costi di produzione, sia marginali che medi, nonché la ricerca dell'estensione ottimale dei soprassuoli capaci di rispondere efficacemente a un determinato livello di domanda di prodotti legnosi (Bernetti, 1998).

Il modello di offerta permette quindi la quantificazione, a livello locale, dei diversi assortimenti prodotti dalle aree forestali. In tal modo è stato possibile verificare le potenzialità di sviluppo di filiere agroenergetiche, sia in termini di dimensioni, che di localizzazione. Inoltre, è stato possibile anche verificare l'influenza che lo sviluppo di linee produttive nuove, legate alla produzione di cippato di legno, hanno nei confronti dell'attuale organizzazione produttiva, soprattutto per quanto riguarda l'organizzazione dei cantieri forestali e le potenzialità, in termini di sfruttamento di nuove aree boscate attualmente inutilizzate.

A tal fine sono stati ipotizzati tre scenari pro-

duuttivi (S_p , S_2 , S_3), per i quali, attraverso l'analisi del valore di macchiatico⁴ delle singole unità territoriali⁵, è stato possibile verificare l'entità delle superfici a macchiatico positivo e quantificare la corrispondente entità di biomassa utilizzabile. In questo caso, essendo i prezzi di mercato relativi a prodotti commerciali con valori medi di umidità del 30%, le quantità di biomasse sono espresse in tonnellate fresche al 30% di umidità.

Gli scenari analizzati sono i seguenti:

- S_1 produzione di assortimenti tradizionali in base alle tecniche colturali e di utilizzazione attualmente praticate;
- S_2 produzione di assortimenti tradizionali e cippato di legno derivante dagli scarti delle utilizzazioni forestali e dai tagli intercalari;
- S_3 produzione di assortimenti tradizionali (legname e paleria) e cippatura totale dei cedui destinati alla produzione di legna da ardere.

Mentre il secondo scenario descrive una realtà già in parte avviata in Toscana⁶, il terzo, più teorico, ipotizza invece la nascita di società che non solo riforniscono gli impianti a biomassa di *chips*, ma si occupano direttamente della vendita di energia; tale scenario ipotetico, si basa sulla considerazione che l'attuale mercato della legna da ardere si presenta discretamente remunerativo, per cui dislocare questo prodotto verso sbocchi di mercato alternativi deve necessariamente prevedere un maggior valore aggiunto. È questo il caso dell'*energy contracting*, che, prevedendo la gestione dell'intera filiera da parte delle imprese forestali, è in grado di garantire, grazie agli attuali prezzi di vendita del calore (circa 70-90 €/kcal) un prezzo equivalente del cippato pari a 240-270 €/t.

Il metodo di elaborazione può essere sintetizzato attraverso il seguente algoritmo:

1. la superficie forestale è rappresentata attraverso una base dati geografica di tipo raster. Ad ogni pixel sono associate le variabili ecologiche (specie, fertilità, trattamento selvicolturale sostenibile ecc.), geografiche (pendenza, presenza e densità della viabilità⁷, distanza dal mercato, accessibilità, ostacoli ecc.⁸) e produttive (prelie-

⁴ Ricordiamo che il valore di macchiatico rappresenta, in termini finanziari, la differenza tra i ricavi ottenibili dalla vendita degli assortimenti legnosi di un particolare soprassuolo e i costi totali di produzione degli stessi.

⁵ Per unità territoriale, si intende l'unità minima di analisi utilizzata nei modelli raster geografici, ovvero, l'unità di superficie costituita da pixel quadrati con lato di 75 m.

⁶ Si vedano a tal riguardo alcuni esempi di filiera legno-energia sviluppati all'interno del progetto "Woodland Energy. La filiera legno - energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agro-forestali", ARSIA (2005-2008).

⁷ Il grafico della viabilità deriva dalla CTR della Toscana 1:10000 e corrisponde ai codici 101, 102 e 103.

⁸ Ostacoli naturali, o barriere, sono rappresentati da crinali e impluvi e derivano da un'analisi di *Topographic Position Index* (TPI) effettuata sul DTM.

- vo sostenibile, ripartizione assortimentale ecc.);
2. assumendo che la distribuzione dell'età dei soprassuoli della q -esima tipologia di bosco sia approssimativamente uniforme tra 0 e T_q , possiamo definire la quantità totale di prodotto teoricamente utilizzabile ogni anno in corrispondenza del turno consuetudinario T_q , come la produttività $x \cdot CLC_j(i, c, m_s)$ definita per ciascun pixel attraverso il modello di offerta per unità di superficie;
 3. se i costi totali di produzione $ctu_j(q)$, calcolati per ciascun pixel (j), risultano minori o uguali del prezzo della biomassa ($ctu_j(q) \leq p$), significa che quel pixel è utilizzabile con profitto;
 4. l'offerta complessiva dell'assortimento (a) che si ha in corrispondenza di uno specifico prezzo è quindi definita come la somma delle produzioni medie annue ottimali dell'assortimento a derivate dalle q tipologie di bosco, situate nei J pixel.

Maggiori saranno i prezzi e/o minori i costi di produzione e maggiori saranno le superfici dei diversi tipi di soprassuoli che risulteranno utilizzabili con profitto e che quindi andranno a sommarsi alla quantità complessiva offerta.

Analisi dei costi di produzione della biomassa

Il costo di produzione unitario $ctu_j(q)$ rappresenta il parametro del modello maggiormente dipendente dalle caratteristiche di tipo geografico.

Nel settore forestale i costi di produzione dipendono infatti dai seguenti fattori:

- caratteristiche *in situ* del suolo e del soprassuolo;
- localizzazione del bosco rispetto al mercato;
- costo dei fattori di produzione.

Nel caso in esame, i costi di produzione relativi a ciascun pixel del territorio esaminato, sono stati calcolati attraverso un modello di costo di tipo geografico che ha portato alla realizzazione di "mappe di costo" rappresentative dei *costi in situ* (costi di abbattimento e allestimento) e dei *costi di localizzazione* (esbosco e trasporto fino ai centri di stoccaggio), nonché della eventuale cippatura all'imposto. Il modello, relativamente all'esbosco, ha inoltre considerato la presenza di ostacoli naturali, come impluvi o crinali. L'esbosco è stato supposto con trattori, *skidder* o con gru a cavo (in funzione della pendenza, della distanza dalla viabilità principale e della densità di strade, *foto 3*).

In particolare, per tutti e tre gli scenari esaminati, il modello geografico ha considerato le seguenti ipotesi:

- la fase di esbosco viene effettuata a strascico con trattore e verricello (o *skidder* in funzione dello scenario previsto) per soprassuoli con pendenza



3. Esempio di esbosco con gru a cavo

inferiore o uguale al 30% e con una densità di strade e/o piste forestali maggiore a 20 m/ha;

- la fase di esbosco sarà invece effettuata con gru a cavo nel caso di pendenze comprese tra il 30 e il 70% e in aree in cui la distanza dalla viabilità è inferiore a 600 m;
- per le superfici con pendenza uguale o superiore al 70% si considera la prevalente funzione protettiva del bosco per cui si ipotizza che non vengano eseguite utilizzazioni forestali.

Formalmente tali considerazioni sono riassumibili nell'equazione:

$$cu_{Ej}^s(q) = \begin{cases} cu_{Ej,skid}^s(q) & \left\{ \begin{array}{l} \text{se densità viabilità forestale} \geq 20 \text{ m/ha} \\ \text{and} \\ \text{se pendenza} \leq 30\% \end{array} \right. \\ cu_{Ej,tel}^s(q) & \left\{ \begin{array}{l} \text{se distanza viabilità} \leq 600 \text{ m} \\ \text{and} \\ \text{se } 30\% < \text{pendenza} \leq 70\% \end{array} \right. \end{cases}$$

dove:

$cu_{Ej}^s(q)$ = costi di esbosco per unità di misura (€/mc e/o €/t) di biomassa estratta dai soprassuoli di tipo q situati nel pixel j per lo scenario s -esimo.

$cu_{Ej,skid}^s(q)$ = costi di esbosco per unità di misura (€/mc e/o €/t) di biomassa estratta dai soprassuoli di tipo q situati nel pixel j per lo scenario s -esimo con *skidder* o trattore con verricello;

$cu_{Ej,tel}^s(q)$ = costi di esbosco per unità di misura

(€/mc e/o €/t) di biomassa estratta dai soprassuoli di tipo q situati nel pixel j per lo scenario s -esimo con teleferica.

Parametri considerati per la stima dei costi di produzione

I costi di produzione, si differenziano sia in relazione alle diverse operazioni attuate, sia in relazione ai diversi scenari ipotizzati.

La relazione esistente tra fattori produttivi e operazione colturali, è espressa attraverso la c.d. matrice della tecnica, ovvero, una matrice che indica, per ciascuna operazione colturale, quali fattori sono impiegati e in che quantità. I costi di ogni fase del processo produttivo forestale possono quindi essere stimati attraverso la sommatoria dei prodotti tra la quantità dei diversi fattori produttivi impiegati e il relativo costo unitario. Ovviamente, la matrice della tecnica è differenziata in relazione alla tipologia di soprassuolo, allo scenario e alle condizioni in situ e di localizzazione.

Nel modello di costo, i costi macchina sono stati calcolati tramite la metodologia proposta da Bernetti nel 2007, ovvero, considerando, i seguenti costi fissi:

- quota di reintegrazione (ottenuta con procedimento lineare⁹);
- interessi sul capitale anticipato;
- assicurazioni;
- rimessaggio;
- e i seguenti costi variabili:
- carburanti;
- lubrificanti¹⁰;
- riparazione e manutenzione.

I coefficienti presi in considerazione per la costruzione delle matrici della tecnica relative alle varie operazioni di utilizzazione forestale sono di seguito riportati.

SCENARIO 1

Nel primo scenario le fasi di lavorazione in bosco, per la produzione di assortimenti tradizionali, possono essere schematizzate nelle seguenti operazioni:



4. Operazione di abbattimento di una pianta

- allestimento della pianta (abbattimento, sramatura, sezionatura);
- concentramento del materiale legnoso e carico del mezzo di esbosco;
- esbosco e scarico.

Allestimento

Per le operazioni di allestimento è stato considerato un cantiere costituito da un operaio qualificato munito di motosega (foto 4).

Tale lavorazione dipende da numerose variabili come la tipologia di soprassuolo (specie, volume delle singole piante ecc.), la forma di governo e trattamento, il tipo di taglio (di diradamento, di maturità ecc.), la pendenza, l'accidentalità del terreno ecc.; per arrivare a definire i costi di tale fase¹¹ è stata considerata la produttività media giornaliera di un operaio in funzione delle caratteristiche del soprassuolo¹², come evidenziato nella tab. 3.

⁹ Il calcolo della quota di reintegrazione tramite procedimento lineare non considera la possibilità di godere degli interessi che derivano dall'accantonamento progressivo delle quote.

¹⁰ Il consumo di carburante e lubrificante è stato definito con la metodologia dei consumi specifici orari pari a 120 gr/hp/h di gasolio e 6,6 gr/hp/h di lubrificante per il trattore forestale; nel caso di utilizzo dello skidder tali valori variano rispettivamente in 150 e 8,25 gr/hp/h per gasolio e lubrificante.

¹¹ I costi orari per le diverse categorie di operaio (qualificato, caposquadra ecc.), per tutti gli scenari produttivi, derivano dal database usato per lo sviluppo del prezzario regionale della Toscana per lavori in ambito forestale (fonte: Dipartimento di Economia Agraria e delle Risorse Territoriali - DEART, Regione Toscana, 2008).

¹² Fonte: HIPPOLITI G., PIEGAI F. (2000) - *Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno*. Compagnia delle Foreste, rielaborato. L'estensione dei dati IFT al CLC è avvenuta anche in questo caso con operazioni di spazializzazione.

Tab. 3 - Produttività giornaliera dell'operaio per la fase di allestimento

Codice CLC	Descrizione Codice CLC (specie prevalenti)	Tipologia forestale IFT o Forma di governo	Produttività operaio (mc/giorno)	Note
3111	Querce e altre latifoglie sempreverdi	—	2	Media tra cedui misti caducifogli mediocri e forteti, cedui scadenti o molto sporchi.
3112	Querce caducifoglie	Roverella e cerro mesofili, mesoxerofili e acidofili	2,5	Cedui misti caducifogli mediocri.
3112	Querce caducifoglie	Cerro eutrofico, mesofilo planiziale, termoigrofilo, querceto di cerro	4,5	Cedui di cerro discreti.
3113	Latifoglie autoctone (misti)	—	3,5	Media tra cedui misti caducifogli mediocri e cedui di cerro discreti.
3114	Castagno	Mesofilo e vulcanofilo	6,9	Cedui di castagno, faggio o cerro vecchi e belli.
3114	Castagno	Acidofilo e neutrofilo	4,5	Cedui di cerro discreti.
3115	Faggio	Fustaia	6,9	Cedui di castagno, faggio o cerro vecchi e belli.
3115	Faggio	Ceduo	4,5	Cedui di cerro discreti.
3116	Specie igrofite	—	0	Considerando l'assenza di tagli per questa tipologia di soprassuolo (da Tipi Forestali: salici e pioppi su alvei in bosco solitamente non utilizzati; l'ontano è usato, ma non compare come singola specie su IFT, quindi non è discriminabile).
3117	Latifoglie esotiche (robinia)	—	4,5	Cedui di cerro discreti.
3231	Macchia alta	—	1,6	Forteti, cedui scadenti e molto sporchi.
3121, 3122, 3123, 3125	Conifere	—	9	Media tra valori minimi per tagli di maturità con alberi grandi, diradamenti con alberi medi e diradamenti con alberi piccoli (senza scortecciatura)
313	Misti	—	Variabile su base IFT	

Concentramento e carico del mezzo di esbosco

Nel caso di esbosco con trattore e verricello o con gru a cavo è stata ipotizzata una capacità di trasporto di 1,5 mc per viaggio, con tempi di concentramento e carico stimati pari a¹³:

- 10' (0,17 h) per il trattore con verricello;
- 15' (0,25 h) per la gru a cavo.

L'utilizzo del trattore con verricello per la fase di esbosco prevede che il cantiere forestale sia costituito da tre operai qualificati (di cui un trattorista), con l'impiego di due operai per le operazioni di concentramento e carico.

L'impiego di gru a cavo rende necessaria la presenza sul cantiere di lavoro di un operaio specializzato capo squadra e di tre operai qualificati, di cui, come nel caso precedente, due saranno impegnati nelle fasi di concentramento e carico.

Esbosco

Per procedere alla stima del costo di esbosco di ciascun pixel che costituisce la nostra base informativa è stato necessario definire un costo di esbosco standard per unità di distanza (€/km) in relazione alle diverse caratteristiche del soprassuolo e di giacitura.

In particolare, per stimare il costo standard sono stati considerati i seguenti fattori produttivi dei cantieri: l'esbosco a strascico con trattore e verricello prevede l'impiego di due operai (*foto 5a e 5b*), mentre nel caso di gru a cavo è prevista una squadra composta da caposquadra e tre operai qualificati. In quest'ultimo caso, sono stati considerati i costi di montaggio e smontaggio della linea di esbosco in funzione delle seguenti ipotesi:

- lunghezza media della linea di gru a cavo: 400 m
- distanza tra le linee di teleferica: 60 m
- superficie interessata al taglio: 400 x 60 = 240 mq
- tempo di montaggio della linea: 4 ore
- tempo di smontaggio della linea: (1/4 del tempo di montaggio): 1 ora
- operai impiegati per le operazioni di montaggio/smontaggio: un operaio specializzato caposquadra e tre operai qualificati.

Scarico

La fase di scarico prevede l'impiego di due operai qualificati sia nel caso di uso del trattore con verricello, che di gru a cavo, con rispettivi tempi di 2' (0,03 h) e 3' (0,05 h).

¹³ Fonte: BERNETTI I., ROMANO S. (2007) - *Economia delle risorse forestali*. Liguori Editore, Napoli.



5a. Esbosco a strascico con trattore e verricello



5b. Esbosco a strascico con trattore e verricello

SCENARIO 2

Nel secondo scenario l'operazione che si viene ad aggiungere è quella relativa alla cippatura degli scarti di lavorazione; l'intero processo di trasformazione assume quindi le seguenti caratteristiche:

Allestimento

I tempi e i costi di produzione sono gli stessi del primo scenario. In questo caso però, le operazioni di sramatura e depezzatura della pianta sono previste all'imposto, con esbosco della pianta intera, al fine di poter utilizzare la cippatrice in prossimità delle strade camionabili (non è infatti conveniente esboscare i residui legnosi, a causa dei tempi di lavoro piuttosto alti che tale operazione richiederebbe).

Concentramento e carico del mezzo di esbosco

L'utilizzo della gru a cavo per l'esbosco della biomassa, non differisce sostanzialmente per i primi due scenari. Nel caso di esbosco della pianta intera a strascico, sono previsti mezzi con potenza più elevata rispetto al semplice trattore forestale munito di verricello.

In questo caso, si ipotizza l'impiego di uno skidder di portata 3 mc per viaggio; gli operai impiegati sono gli stessi previsti nel caso del trattore, mentre variano i tempi di concentramento e carico (15' ovvero 0,25 h) e di scarico (3' ovvero 0,05 h).

Cippatura

La cippatura all'imposto dei residui delle utilizzazioni forestali è stata ipotizzata tramite l'impiego di una macchina da 440 kW trasportata su camion e con una produttività di circa 9 t/h; il costo di cippatura sarà dunque comprensivo della tariffa oraria riconducibile a camion e autista (foto 6).

SCENARIO 3

Questo scenario si differenzia dallo scenario 2, per la presenza di una nuova fase del processo produttivo legata alla produzione e vendita di energia, nonché per un'organizzazione diversa della fase di abbattimento e allestimento. In particolare, in questo caso è prevista la cippatura della pianta intera per tutte quelle superfici che attualmente sono destinate alla produzione di legna da ardere (cedui di cerro ecc.). In questo caso, per tali soprassuoli, è stata quindi ipotizzata l'assenza delle fasi di sramatura e sezionatura del materiale legnoso, con una riduzione dei tempi di produzione pari a circa il 70%¹⁴ dei tempi tradizionalmente impiegati per l'allestimento di boschi cedui destinati a legna da ardere.

L'altra differenza rispetto ai primi due scenari è connessa ai costi aggiuntivi che l'impresa deve sostenere per produrre energia. In questo caso si presenta un costo aggiuntivo (€/MWh erogato) che, convenzionalmente, è stato supposto coincidente con il prezzo di *Break Even Point* (BEP) di vendita dell'energia della società di *energy contracting*¹⁵.

¹⁴ Fonte: HIPPOLITI G., PIEGAI F. (2000) - *Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno*. Compagnia delle Foreste (media per operazioni di allestimento su alberi grandi e piccoli, senza scortecciatura).

¹⁵ Il BEP del prezzo, corrisponde infatti al prezzo dell'energia che mi consente di coprire i costi diretti ed indiretti di produzione. Nel nostro caso, i costi connessi all'investimento, sono stati valutati considerando un ciclo di vita dell'impianto pari a 15 anni.



6. Cippatura all'imposto del materiale legnoso



7. Esbosco e trasporto di cippato con trattore munito di rimorchio

Il prezzo di BEP dell'energia è stato stimato attraverso il modello sviluppato nell'ambito del progetto "Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area dell'Appennino Pistoiese (Bernetti & Fagarazzi, 2008), ovvero, considerando come centro di stoccaggio del materiale legnoso e/o luogo di realizzazione dell'impianto a cippato, i singoli capoluoghi comunali toscani. Sono stati esclusi da tale valutazione i capoluoghi comunali sui cui territori risultava una disponibilità di biomassa inferiore alle 100 tonnellate annue¹⁶. È stata inoltre ipotizzata l'installazione di caldaie con potenza pari 500 kW.

Per comparare il prezzo di BEP dell'energia, con le valutazioni degli altri scenari, è stato quindi necessario stimare il corrispondente prezzo di BEP del cippato. Ciò è stato possibile definendo un Potere Calorifico Inferiore (PCI) standard della massa basale corrispondente alle diverse specie forestali utilizzate (€/mc).

Infine, i costi di produzione delle altre fasi di lavoro sono stati considerati uguali a quelli del secondo scenario.

Operazioni connesse al trasporto

Per definire il fattore "mezzi di trasporto" del processo produttivo forestale, sono state fatte due considerazioni relativamente alle infrastrutture viarie attualmente disponibili in Toscana e relativamente ai mezzi correntemente impiegati dalle

imprese forestali. In merito alle infrastrutture, è stato constatato che nel contesto regionale, esiste una capillare rete di infrastrutture viarie connesse a strade principali, secondarie e sterrate camionabili, idonee a essere percorse con mezzi gommati.

Per quanto riguarda le dotazioni delle imprese e i mezzi correntemente impiegati per il trasporto, è stato constatato l'esclusivo impiego di mezzi gommati; di conseguenza, per il trasporto è stato quindi ipotizzato l'uso di due mezzi gommati che presentano diversa capacità di carico e diverso raggio di azione. Il primo, è rappresentato da un trattore con rimorchio della capacità di 20 mc (*foto 7*), mentre il secondo è rappresentato da un autocarro con capacità di 30 mc, entrambi muniti di pinza caricatrice.

I tempi per le operazioni di carico e scarico degli assortimenti sono stati stimati in 1 min/mc cadauna (0,016 h), con l'impiego di due operai generici.

L'analisi dei costi unitari (fissi e variabili) per entrambe le tipologie di mezzo ha evidenziato la convenienza all'uso del trattore con rimorchio nel caso di imposti che si trovano entro un raggio di 8 km dal centro di stoccaggio, mentre per imposti che si trovano a distanze superiori, conviene impiegare l'autocarro. Il modello di costo utilizzato ha quindi tenuto conto di tali valutazioni, impiegando trattore o autocarro, in ragione delle distanze di trasporto stimate per ciascun pixel.

¹⁶ Nell'ipotesi di installazione di un impianto a biomassa di potenza nominale pari a circa 400-500 kW termici, emerge un fabbisogno annuo uguale o superiore alle 100 tonnellate annue. Se nel comune non risultano disponibili tali biomasse, è evidente che dovrà approvvigionarsi presso i comuni circostanti con riduzione dei risultati economici.

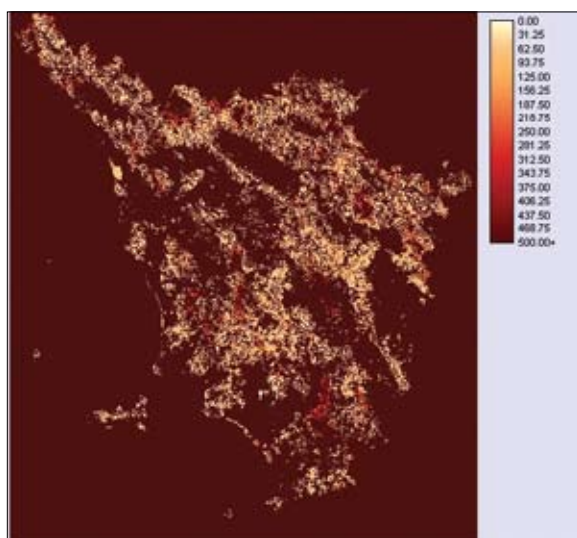


Fig. 4 - Costi di produzione del materiale legnoso per singolo pixel (scenario 2)

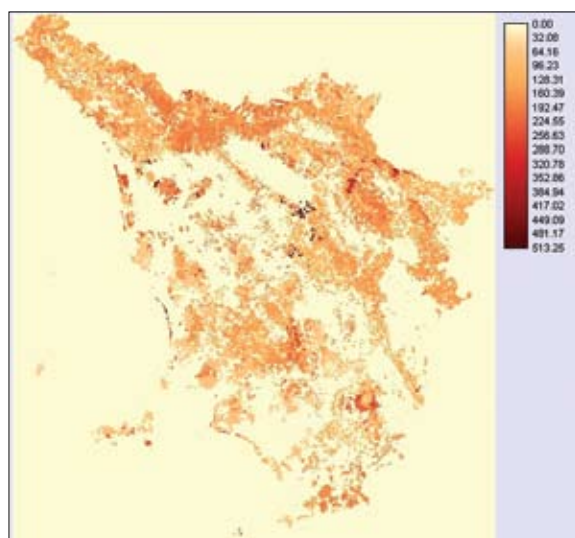


Fig. 5 - Ricavi per pixel nel caso dello scenario 2 (valutati come ricavi medi annui per pixel)

Altre spese

Nell'ambito del processo produttivo, troviamo poi altre voci di costo connesse ai seguenti fattori (Bernetti & Romano, 2007):

- spese di direzione;
- pratiche amministrative;
- interessi sul capitale anticipato.

Le spese di direzione sono connesse all'attività di direzione dei cantieri forestali, che, spesso, sono condotte dallo stesso imprenditore, proprietario del fondo e titolare della ditta di utilizzazioni. Tale costo è correntemente stimato in percentuale rispetto ai costi totali. Ovviamente l'entità percen-

tuale è legata alla complessità delle operazioni di allestimento, esbosco e trasporto, ma è comunque stimabile in circa il 4% dei costi totali.

Allo stesso modo, per quanto riguarda la stima del costo delle attività amministrative, si può procedere a una valutazione speditiva di tale costo tenendo conto del fatto che è correlato alla complessità e ai tempi necessari alla presentazione delle diverse documentazioni burocratiche. In generale è però stimabile nell'ordine del 5% del valore degli assortimenti ritraibili da ogni unità di superficie (pixel).

Infine, sono stati considerati i costi connessi alle anticipazioni finanziarie sostenute all'inizio dell'annata silvana, per poter procedere alle varie operazioni

Tab. 4 - Prezzi degli assortimenti ritraibili

Codice CLC	Descrizione Codice CLC*	Assortimenti ritraibili (p_x) (€/mc)**					
		Tondame da sega	Palone	Imballaggio	Paleria	Legna da ardere	Residui
3111	Querce e altre latifoglie sempreverdi	-	-	-	-	71	56
3112	Querce caducifoglie	-	-	-	-	64	51
3113	Latifoglie autoctone (misti)	-	-	-	-	61	49
3114	Castagno	84	46	-	40	-	35
3115	Faggio	-	-	-	-	56	45
3117	Latifoglie esotiche (robinia)	-	-	-	-	60	48
3121	Pini mediterranei e cipressi	80	-	25	-	-	42
3122	Pini oro-mediterranei e montani	44	-	20	-	-	34
3123	Abeti (bianco e/o rosso)	73	-	23	-	-	28
3125	Conifere esotiche	73	-	23	-	-	28
3231	Macchia alta	-	-	-	-	68	54

* Il codice corrisponde a: boschi a prevalenza di...

** Nel caso in cui le fonti bibliografiche riportavano il prezzo dell'assortimento espresso in €/t, tale valore è stato trasformato in prezzo per unità di volume (€/mc) moltiplicandolo per la massa basale (t/mc) della specie considerata (fonte: HELLIG B., *Numeri per la dendrogenetica*, 2001).

Fig. 6 - Superfici a macchiatico positivo per lo scenario produttivo n. 1



selviculturali, e alla vendita dei prodotti alla fine del processo produttivo forestale. I tempi che intercorrono tra le anticipazioni e l'incasso dei ricavi possono quindi variare da pochi giorni a più di un anno. Per tale ragione è necessario valutare il costo collegato al capitale anticipato in termini di costo opportunità, ovvero, in funzione di possibili investimenti alternativi su cui potevano essere dirottati tali anticipazioni finanziarie. Il tasso di interesse, da applicare sul totale dei costi espliciti sostenuti, è stato perciò stimato di entità pari al 4%, con un'immobilizzazione del materiale legnoso (stoccaggio, essiccazione, contatti con gli acquirenti finali ecc.) di tre mesi¹⁷.

Nella *fig. 4*, riportiamo un esempio di mappa di costo di produzione totale, relativa allo scenario produttivo numero 2.

Analisi dei ricavi

Poiché, per alcuni scenari, il modello considerato fa riferimento a un'impresa multiprodotto, ovvero che produce più di un assortimento legnoso, è stato necessario stimare i ricavi ottenibili dalla vendita dei diversi assortimenti per giungere alla identificazione delle superfici a macchiatico positivo. In questo caso, la sola comparazione dei costi di produzione di "un assortimento" con il relativo prezzo di mercato non consentiva infatti tale valutazione, per cui è stato necessario determinare i ricavi ottenuti con la

vendita del mix produttivo, tenuto conto dei prezzi spuntati dai diversi assortimenti. I ricavi sono funzione di molteplici fattori: la specie, la ripartizione assortimentale, il mercato dei vari prodotti legnosi, la localizzazione ecc. Per tale ragione, i prezzi di vendita del materiale legnoso sono stati verificati su riviste specializzate e comparate con le indicazioni fornite da imprenditori forestali e tecnici di Comunità Montane dell'area regionale.

I ricavi ottenibili da ciascun pixel del territorio regionale sono stati quindi stimati come sommatoria dei ricavi ottenibili dalla vendita dei diversi assortimenti legnosi ottenuti alla fine del turno consuetudinario praticato per ciascuna tipologia forestale.

I prezzi di vendita presi in considerazione nel presente studio, suddivisi per tipologia di assortimento, sono riportati in *tab. 4*.

Nel caso dello scenario 3, il prezzo di vendita del cippato ottenuto dalla cippatura della pianta intera di soprassuoli destinati alla produzione di legna da ardere, è un "prezzo derivato", ovvero, un prezzo (€/t) stimato sulla base del prezzo di vendita dell'energia (€/kWt) applicato dalla società di *energy contracting*, al netto dei rendimenti d'impianto di teleriscaldamento.

Nella *fig. 5*, è illustrata una mappa dei ricavi medi annui ottenibili dal singolo pixel nel caso di attuazione del secondo scenario produttivo.

¹⁷ Nel caso di ricorso a sistema creditizio, da parte dell'impresa di utilizzazione, il tasso da applicare, sarà quello effettivamente praticato dall'istituto di credito.

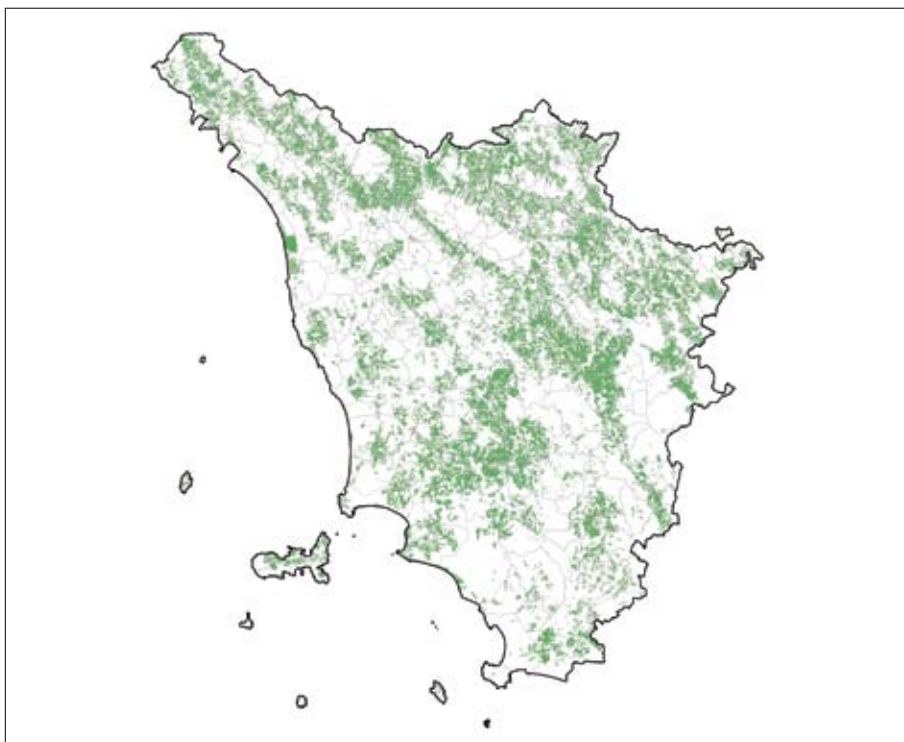


Fig. 7 - Superfici a macchiatico positivo per lo scenario produttivo n. 2

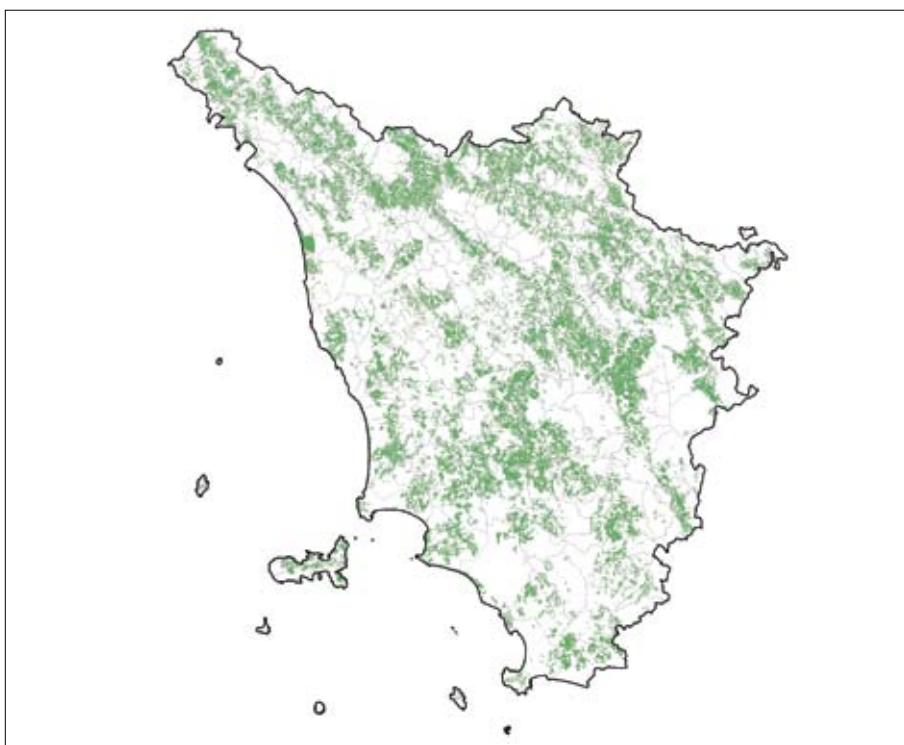


Fig. 8 - Superfici a macchiatico positivo per lo scenario produttivo n. 3

2.3.4 Determinazione delle superfici a macchiatico positivo

La stima delle superfici disponibili per le utilizzazioni forestali, esige la stima dei valori di macchiatico e l'identificazione delle aree i cui macchiatici risultano positivi, cioè l'identificazione dei pixel nei quali la

differenza tra ricavi ottenuti dalla vendita degli assortimenti legnosi e costi di produzione degli assortimenti, è uguale o superiore a zero (aree in verde nelle *figg. 6, 7 e 8*). In questo caso, l'entità delle superfici nelle quali gli interventi forestali risultano economicamente efficienti, e quindi attuabili, risultano:

Fig. 9 - Legna da ardere economicamente prelevabile a livello comunale per lo scenario produttivo n. 2 (t/anno)

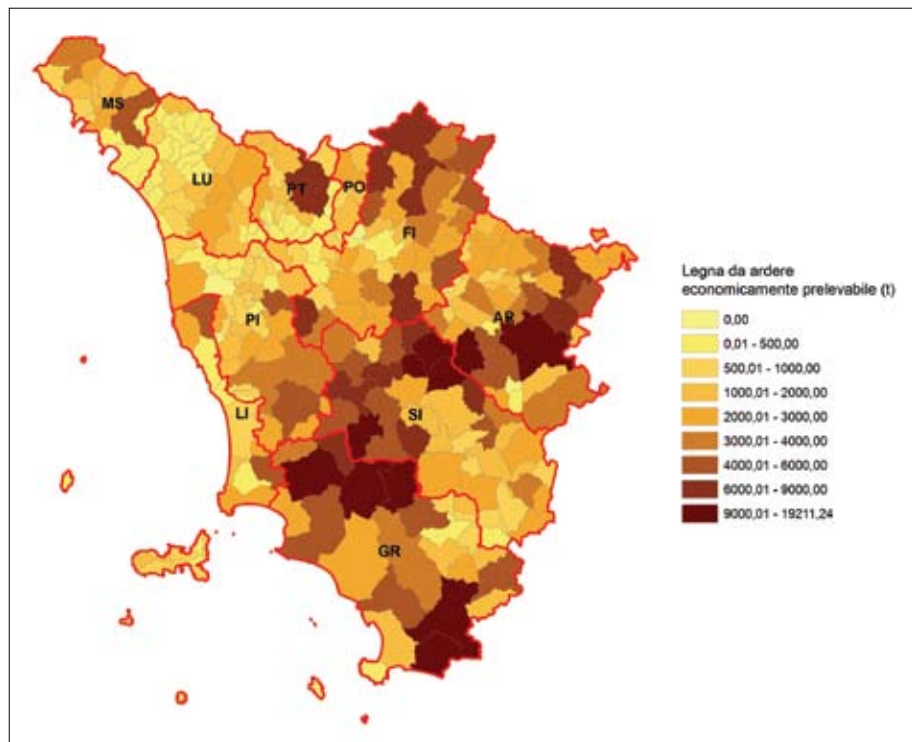
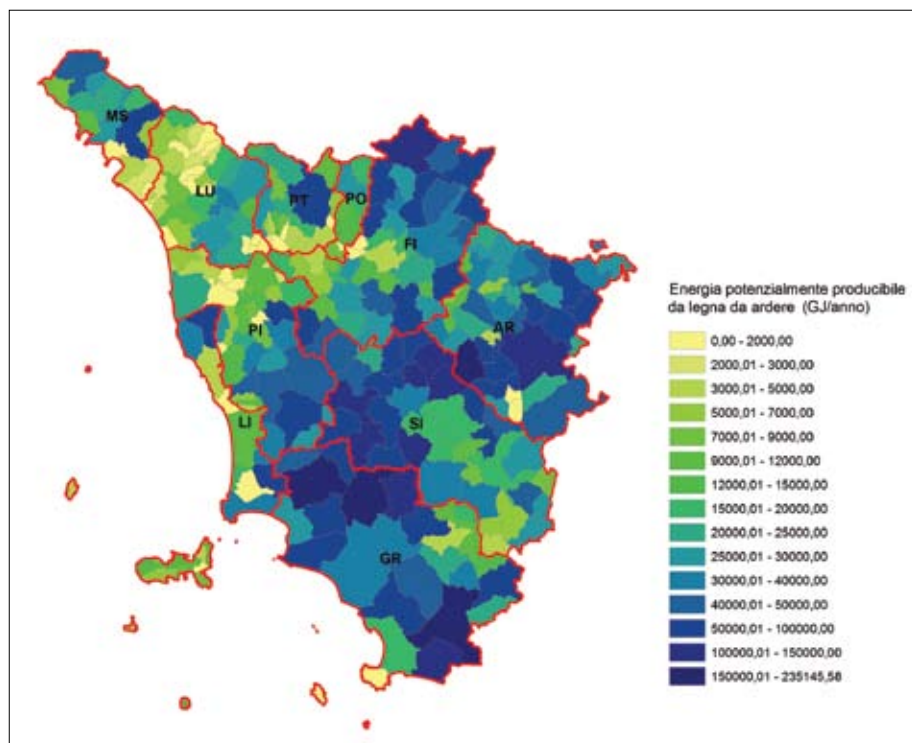


Fig. 10 - Energia potenzialmente producibile da legna da ardere a livello comunale (GJ/anno)



- Scenario 1: 414.919 ha
- Scenario 2: 485.012 ha
- Scenario 3: 476.365 ha.

Appare quindi evidente che, per i tre scenari produttivi ipotizzati, le superfici forestali regionali a macchiatico positivo aumentano quando si va ad affiancare

alla produzione di assortimenti tradizionali, quella di cippato di legno a fini energetici. La *fig. 9* rappresenta la massima produttività di legna da ardere secondo criteri di efficienza ecologica ed economica, mentre in *fig. 10* è illustrata la corrispondente produzione in termini energetici (GJ).

2.4 Valutazione dell'offerta di residui delle formazioni forestali all'anno 2013

Lo studio ha previsto anche una valutazione comparata delle produttività di biomasse forestali da destinarsi al settore energetico relative ai periodi 2007 e 2013. È quindi evidente che, dato il limitato arco temporale preso in considerazione (5 anni), le eventuali modifiche nella produzione di biomasse forestali non sono dovute a variazioni nell'entità delle superfici attribuibili alle diverse tipologie forestali, né, tantomeno, a variazioni di produttività.

In quest'ottica, l'unica eventuale modificazione produttiva di biomassa forestale riscontrabile al 2013, può essere imputabile a biomasse che si renderanno disponibili per effetto di potature o di tagli finali in impianti di arboricoltura da legno realizzati, su terreni agricoli, con i contributi del Regolamento CE 2080/92 (*foto 8*). Queste biomasse andranno infatti a sommarsi a quelle prodotte dalle formazioni forestali nel 2007.

In questo caso non è stato necessario stimare il valore di macchiatico dei soprassuoli, in quanto si tratta di operazioni colturali che è necessario fare per produrre l'assortimento principale (legno di pregio come noce, ciliegio ecc.).

Sulla base delle informazioni fornite dalla Regione Toscana, gli impianti di arboricoltura da legno finanziati sulla base del Reg. CE 2080/92, ammontano a 5.267 per una superficie complessiva di 4.534 ettari. Le specie utilizzate per gli imboschimenti sono elencate in *tab. 5*.

Nella categoria "Altre specie" sono comprese le specie indicate nella *tab. 6* (fonte: *Progettazione e realizzazione di impianti di Arboricoltura da Legno*, ARSIA Regione Toscana, 2003).

Grazie alla disponibilità di dati georiferiti relativi ai suddetti impianti di arboricoltura da legno, è stato possibile procedere anche a una stima per comune, dei residui ritraibili per scopo energetico all'anno 2013. Per fare questo, è stato necessario ipotizzare un'età costante per tutti i soprassuoli realizzati. In pratica, è stata ipotizzata un'età di 17 anni al 2013, ovvero, considerando come se tutti gli impianti fossero stati realizzati nel 1996, anche se, in realtà, questi impianti sono stati realizzati tra il 1993 e il 1999 (ultimo anno disponibile per l'imboschimento con il Reg. CE 2080/92, prima dell'entrata in vigore del il Reg. CE 1257/99 per il PSR 2000-2006 che introduceva nuove forme di finanziamento e a cui non sono riconducibili le aree imboschite secondo il Reg. CE 2080/92).

La stima delle provvigioni al 2013 si è basata sulla stima degli incrementi medi e della massa basale

Tab. 5 - Superficie imboschita con le diverse specie, negli interventi finanziati con il Reg. CE 2080/92

Specie	Superficie (ha)
Altre specie*	3.585,98
Noce	335,04
Ciliegio	152,67
Pioppo bianco	103,66
Sughera	54,40
Pioppi ibridi	51,67
Misto latifoglie	47,84
Frassino ossifillo	44,28
Pino domestico	30,62
Cipresso	21,82
Pero peruggino	18,12
Rovere	12,45
Frassino maggiore	11,15
Sorbo comune	9,00
Acero montano	8,26
Misto con prevalenza di specie quercine	8,00
Pioppo nero	5,30
Ontano napoletano	5,07
Castagno	4,97
Roverella	4,03
Farnia	4,00
Abete	3,50
Pino marittimo	3,30
Douglasia	2,69
Cerro	2,65
Cotogno	2,32
Tiglio selvatico	0,51
Abete bianco	0,50
Cipresso comune	0,26
Leccio	0,15
Totale	4.534,19

* Nella categoria "Altre specie" sono comprese le specie indicate nella *tab. 6* (fonte: *Progettazione e realizzazione di impianti di Arboricoltura da Legno*, Arsia Regione Toscana, 2003).

Tab. 6 - Tipologie arboree inserite nella categoria "Altre specie"

Altre specie	
Acero riccio	Paulonia
Ontano nero	Pino nero e/o laricio
Frassino maggiore	Cedrus spp.
Noce nero	Pino d'aleppo
Noce ibrido	Acero campestre
Melo selvatico	Carpino bianco
Platanus spp.	Carpino nero
Robinia	Nocciolo
Ciavardello	Olivello di boemia
Tiglio comune	Olivello umbellata
Ulmus spp.	Salix spp.
	Sambucus spp.

Fonte: *Progettazione e realizzazione di impianti di Arboricoltura da Legno*, Arsia Regione Toscana, 2003.

Tab. 7 - Incremento medio annuo e massa basale considerati per le specie impiegate negli "impianti 2080"

<i>Specie</i>	<i>Incremento medio*</i> (t/ha • anno)	<i>Massa basale</i> (t/mc)	<i>Specie</i>	<i>Incremento medio*</i> (t/ha • anno)	<i>Massa basale</i> (t/mc)
<i>Cupressus spp.</i>	13	0,51	Misto con prevalenza		
Abete bianco	13	0,46	di specie quercine	4	0,77
Douglasia	13	0,46	Aceri montano	4	0,64
Pino marittimo	13	0,54	Sorbo comune	4	0,79
Abete	13	0,46	Frassino maggiore	4	0,75
Pino domestico	13	0,54	Rovere	4	0,77
Leccio	4	0,77	Pero peruggino	4	0,67
Tiglio selvatico	4	0,47	Frassino ossifillo	4	0,75
Cotogno	4	0,75	Misto latifoglie	7	0,65
Cerro	4	0,77	Pioppi ibridi	20	0,40
Farnia	4	0,77	Sughera	4	0,77
Roverella	4	0,77	Pioppo bianco	20	0,40
Castagno	7,3	0,65	Ciliegio	5	0,53
Ontano napoletano	15	0,60	Noce	4	0,56
Pioppo nero	20	0,40	Altre specie**	8	0,60

* L'incremento riportato è quello medio all'età di 17 anni, riferito alla massa totale, per impianti di arboricoltura da legno.
 ** I valori di incremento medio annuo e di massa basale per la categoria "Altre specie" rappresentano valori medi delle essenze arboree riportati nella *tab. 6*.

per ogni singola specie. I valori considerati, derivanti dall'analisi di fonti bibliografiche specializzate, sono illustrati in *tab. 7*. Successivamente, sulla base di indicazioni bibliografiche derivate da pubblicazioni ARSIA, curate da Buresti e Mori (Buresti & Mori, 2003; 2004)¹⁸, sono stati stimati gli incrementi medi annui delle diverse specie. La tipologia di intervento al 2013 è stata differenziata in funzione del tipo di impianto (puro o misto) e delle specie presenti, secondo le seguenti ipotesi¹⁹:

- *impianti puri con specie a rapido accrescimento (pioppi, robinia, ontano)*: è stato ipotizzato un taglio finale che produce il 20% di biomassa residuale da destinarsi a cippato²⁰;
- *impianti misti e categoria "altre specie"*: si suppone in questo caso la presenza di legnose accessorie già eliminate entro il primo decennio (50% della massa totale asportata con uno/due diradamenti geometrici), mentre il diradamento delle specie principali porterà all'eliminazione, al 2013, del 50% delle piante di tale specie (ovvero il 25% della massa totale). Di queste biomasse, il 40%

**8. Impianto di arboricoltura da legno di pioppo**

sarà destinato alla produzione di cippato, mentre il resto può trovare altri sbocchi di mercato (pannelli, legname da sfoglia ecc.) (*fig. 11*);

¹⁸ BURESTI E., MORI P. (2003) - *Progettazione e realizzazione di impianti di Arboricoltura da Legno*. ARSIA Regione Toscana; BURESTI E., MORI P. (2004) - *Conduzione e valutazione degli impianti di Arboricoltura da Legno*. ARSIA Regione Toscana.

¹⁹ Le diverse fonti bibliografiche analizzate non definiscono con precisione la ripartizione assortimentale per le diverse specie e impianti e, di conseguenza, la quantità di biomassa ottenibile dalle operazioni di taglio finale o diradamento; tali valori sono stati pertanto stimati in funzione di osservazioni in campo e colloqui con imprenditori agrari che hanno realizzato impianti di arboricoltura da legno.

²⁰ Da precisare che il quantitativo di biomassa residuale potenzialmente ottenibile dal taglio finale di soprassuoli con specie a rapido accrescimento è superiore nel caso di soprassuoli di bassa qualità; la percentuale di cippato è stata comunque sottostimata in considerazione del fatto che alcuni di questi impianti potrebbero già essere stati utilizzati.

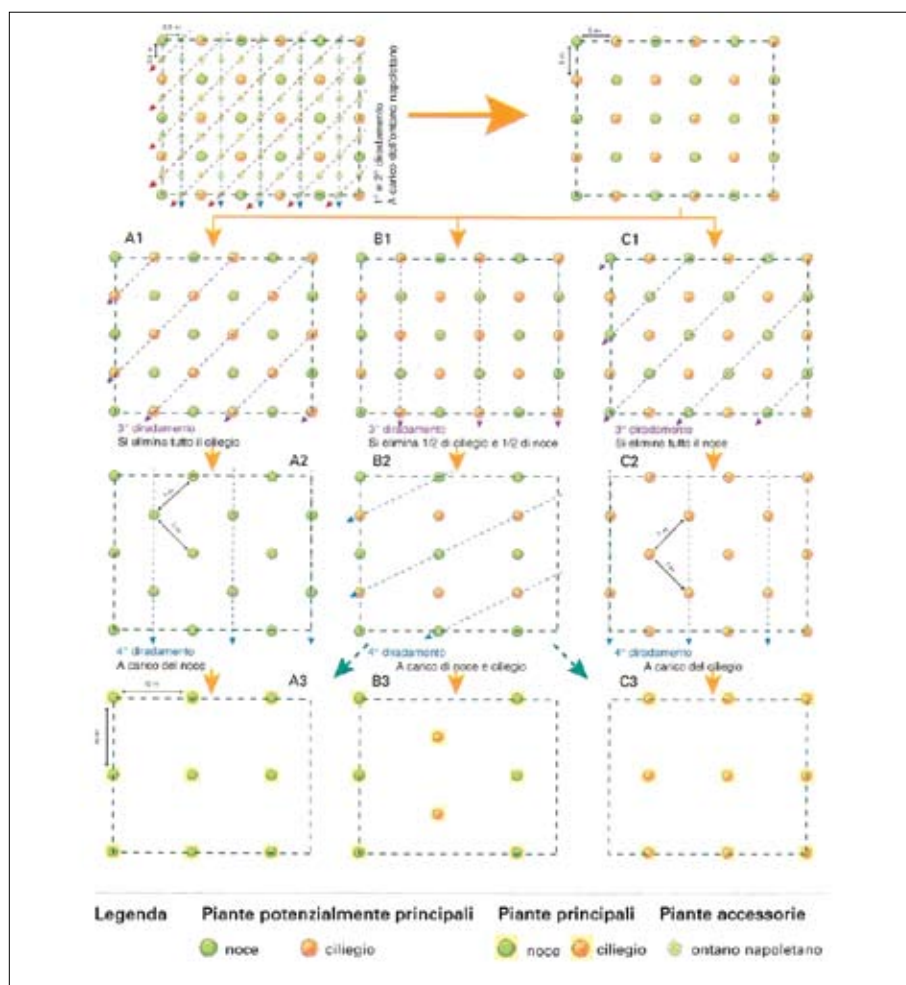


Fig. 11 - Esempio di diradamento in impianto misto con specie accessorie, per la produzione di legname di pregio
(Fonte: Buresti, Mori, 2004).
N.B.: in questo esempio specifico l'intervento previsto all'anno 2013 è riconducibile al terzo diradamento della figura

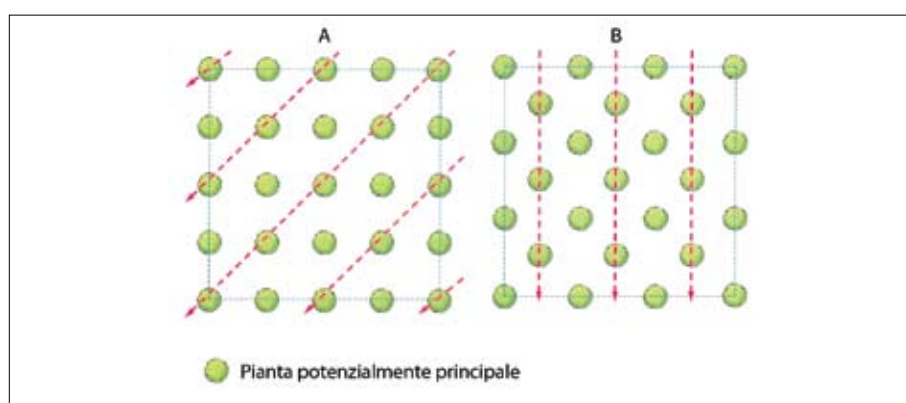


Fig. 12 - Esempi (A e B) di diradamento geometrico con asportazione del 50% della massa totale in impianti puri
(Fonte: Buresti, Mori, 2004)

Considerato che molti impianti presentano formazioni arboree con bassa qualità tecnologica, è stato cautelativamente ipotizzato, che la percentuale di impianti su cui verranno realmente effettuate tali operazioni di diradamento sia pari al 10% delle superfici.

Per un altro 10% dei soprassuoli, sono stati invece previsti soli interventi di potatura, con produzioni di residui pari a 4,9 t/ha²¹. Da tali superfici sono ovviamente esclusi gli impianti con specie a ciclo breve.

Anche in questo caso, i dati finali sono stati aggregati a livello comunale.

²¹ Ipotizzando un sesto di impianto di 4,5 x 4,5 m con 494 piante/ha e 10 kg di ramaglia per pianta.

2.5 Stima della quantità di residui derivanti dalla ripulitura degli alvei fluviali e dalla potatura del verde urbano

Ripulitura degli alvei fluviali

Il crescente numero di eventi climatici eccezionali aumenta il rischio di dissesto idrogeologico delle aree che si trovano in prossimità di corsi d'acqua, anche se questi ultimi risultano di dimensioni medio-piccole. Gli effetti legati alle esondazioni, sono tanto più dannosi quanto maggiore è la concentrazione di abitazioni e infrastrutture di varia natura in prossimità del corso d'acqua.

Emerge a tal riguardo, la necessità di effettuare interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, lungo le aste fluviali, al fine di garantire il corretto deflusso delle acque meteoriche e minimizzare il rischio di esondazioni (*foto 9*).

I problemi connessi a questo tipo di interventi, che devono essere eseguiti puntualmente e ripetutamente nel tempo, sono essenzialmente di due tipi:

1. innanzitutto si deve ricercare un equilibrio tra materiale asportato (l'entità è correlata all'esigenza di ridurre il rischio idrogeologico), e conservazione e difesa della qualità ambientale (in termini di mantenimento degli habitat naturali, delle specie animali e della diversità floristica);
2. il secondo aspetto è di ordine economico, o meglio, finanziario. È noto infatti, che gli assortimenti ritraibili dalle ripuliture degli alvei fluviali non sono qualitativamente e quantitativamente omogenei, per cui non sono identificabili come soprassuoli idonei a produrre assortimenti impie-

gabili nelle industrie di trasformazione del legno o nel mercato della legna da ardere; per tale ragione è necessario valutare, caso per caso, la convenienza dell'utilizzo di questa tipologia di soprassuolo.

L'opportunità di dirottare le produzioni derivate dalle ripuliture fluviali, verso il settore delle biomasse residuali da impiegare nel settore energetico, rappresenta un valido incentivo allo sviluppo di questi interventi. La disponibilità di finanziamenti diretti alla realizzazione di queste, unita all'accessibilità delle aree, permette un incremento dei margini unitari per le imprese e quindi un'ottima opportunità di sviluppo del settore.

In considerazione di quanto detto, la superficie relativa agli alvei fluviali è stata stimata attraverso un'analisi spaziale su piattaforma GIS, considerando un *buffer* di 5 metri sui corsi fluviali principali (codici 301 e 302 della Carta Tecnica Regionale della Toscana) ed escludendo sia le superfici precedentemente incluse in aree boscate, sia quelle ricadenti in aree urbane (centri e nuclei urbani della Toscana).

Una volta definite le aree di intervento relative ai tagli selettivi e alle ripuliture da effettuare (in termini di scelta dei corsi d'acqua e dimensioni degli alvei) del contesto regionale, si è proceduto alla definizione delle produttività di biomassa residuale (*chips*) per unità di superficie (t/ha). Così come per gli interventi previsti negli impianti di arboricoltura da legno, è stato qui ipotizzato che le operazioni di allestimento, "esbosco" e trasporto relative alla ripulitura degli alvei fluviali presentino sempre un macchiatico positivo. Ciò, in considerazione dei finanziamenti espressamente dedicati a questo tipo di attività e dell'elevato grado di meccanizzazione del cantiere



9. Taglio di ripulitura di vegetazione ripariale

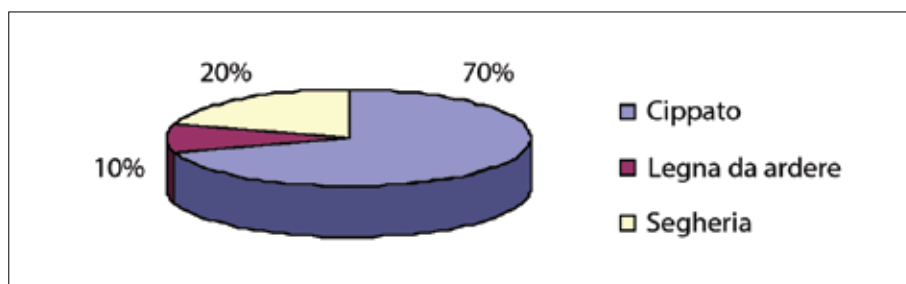


Fig. 13 - Ripartizione assortimentale della biomassa derivante dalle ripuliture degli alvei fluviali (fonte: Spinelli & Magagnotti, 2007)

produttivo, che consente una forte riduzione dei costi di produzione.

La stima della produttività media annua di biomasse residuali derivate dalle operazioni di ripulitura degli alvei fluviali, è stata basata sulla bibliografia di settore. In particolare, è stata stimata sulla base di un lavoro realizzato da Spinelli e Magagnotti nel 2007²² su cantieri di lavoro per la ripulitura di alvei fluviali, in contesti assimilabili alle condizioni medie del territorio della Toscana.

I risultati dei cantieri sperimentali identificano una produttività media di biomasse quantificabile in circa 150-200 t/ha²³, ripartiti come da *fig. 13*.

Sulla base di tali risultati, possiamo prudenzialmente ipotizzare una provvigione di legname derivante da vegetazione riparia di 150 t/ha, con una percentuale di cippato pari a circa il 70% della provvigione totale. Se consideriamo, sulla base delle bibliografie esistenti, un'età media del soprassuolo pari a 40 anni, possiamo stimare un incremento medio annuo dell'assortimento "cippato" di circa 2,5 t/ha per anno.

La produzione potenziale annua di biomassa residuale a scopo energetico, derivante dalla ripulitura delle aste fluviali, è stata quindi calcolata per ciascun comune toscano come prodotto tra la superficie del buffer di 5 metri costruito sulle "aste fluviali" e la produzione media annua per ettaro (t/ha) di biomasse residue da alvei fluviali stimata sulla base dei dati bibliografici.

Potatura del verde urbano

La potatura delle alberature stradali in aree urbane e periurbane, nonché delle piante presenti nei parchi e/o giardini pubblici, rappresenta un'operazione di manutenzione ordinaria necessaria a garantire la sicurezza pubblica e un corretto accrescimento delle specie vegetali tale da non

compromettere la funzionalità e l'agibilità delle infrastrutture viarie.

Nella maggior parte dei casi però, i residui derivanti dalle suddette potature vengono avviati verso le discariche come rifiuti organici o addirittura come rifiuti solidi urbani (RSU), divenendo, in definitiva, un costo per l'ente pubblico che si fa carico delle operazioni di ripulitura e trasporto (ad esempio, in forma diretta o tramite ditte specializzate).

L'utilizzo della ramaglia per scopi energetici rappresenta quindi, anche in questo caso, una modalità di valorizzazione dei residui legnosi, poiché in grado di fornire una produzione annua e costante, che può servire impianti termici di proprietà pubblica.

La stima dei residui derivati dalle aree a verde urbano, è stata eseguita attraverso un'analisi spaziale diretta a individuare tutti gli elementi puntuali, rappresentativi delle singole alberature, rappresentati sulle Carte Tecniche Regionali (in scala 1:10.000), e ricadenti in aree urbane della Regione Toscana. In particolare, gli elementi puntuali presi in considerazione sono stati i seguenti²⁴:

Codice Carte Tecniche Regionali - descrizione

- 709 Giardino/parco
- 719 Ceduo
- 720 Abete
- 721 Pino
- 722 Cipresso
- 723 Quercia/Olmo
- 724 Faggio
- 725 Castagno
- 726 Larice
- 727 Pioppo
- 728 Quercia da sughero
- 729 Macchia.

Il numero di elementi puntuali così individuati, rappresenta una stima della disponibilità di albe-

²² SPINELLI R., MAGAGNOTTI N. (2007) - *Protezione idraulica, ambiente e biomassa: un approccio integrato alla manutenzione degli alvei fluviali*. PSL – Sibilla: Progetto pilota per la valorizzazione integrata delle fonti energetiche rinnovabili del territorio.

²³ Per un'asta fluviale di 1 km e con un'ampiezza dell'alveo pari a 20 m.

²⁴ Questi elementi puntuali non vanno a sovrapporsi ai soprassuoli boscati, ma si riferiscono esclusivamente ad alberature presenti in aree urbane.

**Tab. 8 - Identificazione dei SLS e DI toscani
per alcuni comparti dei settori di prima e seconda trasformazione del legno**

<i>Comparto del settore "industria del legno"</i>	<i>Denominazione dell'aggregazione comunale</i>
Fabbricazione di mobili	Capannori-Vicopisano (PI), Quarrata (PT), Sinalunga (SI)
Produzione di imballaggi	Capannori (LU), Pietrasanta (LU)
Fabbricazione di pannelli	Siena-Monteroni (SI)
Produzione di segati	Amiata-Bolsena-viterbese (GR, VT), Casentino (AR)
Altri prodotti in legno	Poggibonsi (FI, SI), Capannori-Vicopisano (PI), Bagni di Lucca (LU)

rature presenti in aree urbane, censite al momento della realizzazione dei singoli fogli di CTR. Si tratta ovviamente di un risultato, che può scostarsi leggermente rispetto al valore reale, ma che tuttavia, risulta rappresentativo di una realtà regionale che altrimenti non potrebbe essere stimata.

Il processo analitico si basa, oltre che sulla stima del numero di piante presenti all'interno di ciascun comune, anche sulla valutazione del corrispondente incremento corrente annuo per pianta.

In generale, l'incremento corrente annuo (I_c) è dato dal prodotto tra il saggio di accrescimento di massa legnosa degli alberi in piedi (p_v), stimato secondo *formula generale del saggio di accrescimento di massa legnosa*, e il volume (V). L'accrescimento riferibile alla ramaglia deriva dalla differenza tra l'incremento corrente annuo di massa dendrometrica e quello riferibile alla massa cormometrica²⁵ (*vedi Allegati - tabelle riepilogative*).

2.6 Stima della quantità di residui derivanti dall'industria del legno

Il settore dell'industria del legno assume una notevole importanza nella regione Toscana, sia in termini occupazionali, che di qualità dei prodotti ottenuti.

La diffusione e il peso assunto dal settore di prima e seconda trasformazione del legno nell'area regionale, è evidenziato dal calcolo dell'Indice di Specializzazione (IS) per i diversi comparti interessati. La quantificazione dell'IS permette di identificare l'importanza di un determinato settore produttivo (ad esempio, a livello comunale), rispetto a uno specifico comparto lavorativo (ad esempio, settore manifatturiero) e rispetto a un ambito territoriale più ampio (ad esempio, l'intero territorio nazionale). Attraverso il calcolo dell'IS si vanno a

definire e circoscrivere i Sistemi Locali di Sviluppo (SLS) e i relativi Distretti Industriali (DI). Mentre i primi possono essere ricondotti ad aree nelle quali un insieme di imprese svolgono processi produttivi simili, i secondi si identificano in contesti territoriali in cui si chiude l'intera filiera di un particolare prodotto (ad esempio, la filiera foresta-legno-mobili).

Il calcolo dell'Indice di Specializzazione e l'aggregazione dei comuni che presentavano un IS "consistente"²⁶ ha permesso di definire numerosi SLS e DI toscani differenziati per comparto produttivo (Bernetti & Romano, 2007), vedi *tab. 8*.

La quantità di residui potenzialmente provenienti dal settore dell'industria del legno è stata valutata attraverso l'aggiornamento e l'integrazione della metodologia utilizzata nel progetto BIOSIT (Bernetti & Fagarazzi, 2003).

L'ipotesi di base implica una stretta correlazione tra la produttività aziendale – e, di conseguenza, l'ammontare di residui di lavorazione – e il numero di addetti impiegati nell'azienda, differenziati per ambito produttivo.

La prima fase ha previsto quindi l'aggregazione dei vari settori di prima e seconda trasformazione del legno in quattro macrocategorie, ovvero:

- segherie
- semifiniti
- falegnamerie
- mobilifici.

Tale aggregazione ha riguardato le attività legate all'industria del legno che ricadono nella descrizione del "Gruppo Economico" relativo ai dati ISTAT del *Censimento dell'industria e dei servizi* del 2001, dal quale deriva inoltre, il numero di addetti a livello comunale per i quattro comparti elencati.

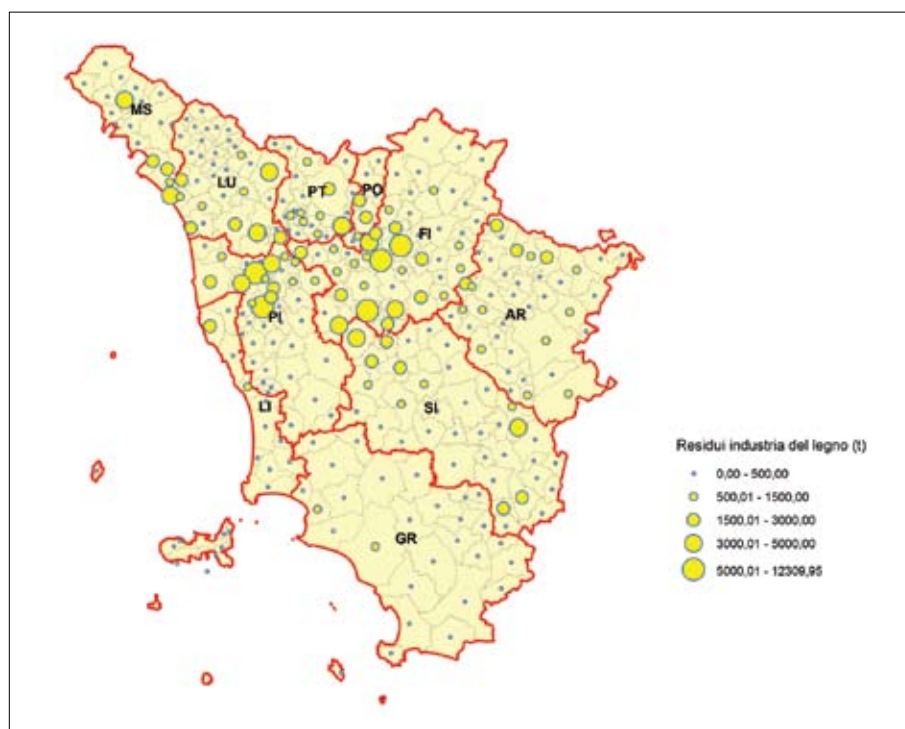
Il passo successivo è stato quello di abbinare a ciascuna fase di lavorazione un coefficiente che esprime la produzione annua di residui legnosi connessa a

²⁵ Il volume cormometrico è rappresentato esclusivamente dal fusto, senza ramaglia e cimali, mentre il valore di volume dendrometrico comprende l'intera parte aerea dell'albero.

²⁶ L'Indice di Specializzazione è definito "consistente" quando presenta dei valori maggiori a 2. Per un maggior approfondimento relativo al calcolo dell'IS per il settore industriale del legno, cfr. Bernetti & Romano, 2007.

Tab. 9 - Numero di addetti e residui annui prodotti dai diversi comparti dell'industria del legno

Settore di trasformazione	Addetti regionali (n.)	Produttività di residui legnosi per addetto (t/addetto/anno)	Totale residui (t/anno)
Segherie	1.181	28,2	33.304
Semifiniti	4.472	38,2	170.830
Falegnamerie	6.659	1,80	11.986
Mobilifici	15.707	0,14	2.199
Totale	128.019		218.319

**Fig. 14 - Residui derivanti dai settori di prima e seconda trasformazione del legno a livello comunale**

ciascun addetto (Bernetti & Fagarazzi, 2003)²⁷. Il prodotto tra la produttività annua di residui per addetto e il totale degli addetti per settore produttivo, riferito al singolo comune, fornisce infine la quantità di residui comunali annui distinti per segherie, semifiniti, falegnamerie e mobilifici. I risultati ricondotti all'universo regionale, sono riportati in *tab. 9*.

I risultati, evidenziano l'importanza che può assumere il settore dell'industria del legno in termini di produzione di scarti dei processi di prima e seconda trasformazione, raggiungendo potenzialmente tra il 18 e il 25% dell'offerta totale di residui dell'intera filiera biomassa-energia.

Se esaminiamo le produzioni, il fabbisogno e il consumo apparente di legno per il settore di prima e seconda lavorazione (*tab. 10*), appare subito evidente che le biomasse di scarto derivano quasi esclusivamente da residui derivati da materie prime provenienti dall'estero. Il tasso di importazione del settore di prima e seconda trasformazione del legno è infatti, in Italia, molto elevato (Marone, 2007, rielaborato). Dai dati della *tab. 10* e dalla corrispondente *fig. 15*, emerge chiaramente che l'incremento di fabbisogno²⁸ unito alla sostanziale stabilità delle produzioni interne, sia soddisfatto attraverso un incremento delle importazioni.

²⁷ Per i settori delle segherie e dei semifiniti, la stima di tale coefficiente è avvenuta sulla base dell'elaborazione dei dati ISTAT relativi al *Censimento dell'Industria* del 1997 e dei risultati del progetto UE *Saving Optimising Renewable Traditional Energy (SORTE)* realizzato dall'ARSIA (1997). Per quanto riguarda falegnamerie e mobilifici, la quota di residui pro-addetto è derivata dal database del *Censimento intermedio dell'industria e dei servizi* (1996) e da dati di letteratura (Bernetti *et al.*, 1993).

²⁸ Il fabbisogno è dato dalla somma delle produzioni interne e delle importazioni.

²⁹ Calcolato come rapporto tra produzione interna e consumo apparente. Il tasso di autoapprovvigionamento indica la capacità di un Paese di soddisfare la propria domanda con risorse endogene.

**Tab. 10 - Produzione, fabbisogno e consumo apparente di legname in Italia
(valori espressi in metri cubi di equivalente tondo)***

Anno	Produzione	Fabbisogno	Consumo apparente	Anno	Produzione	Fabbisogno	Consumo apparente
1980	9.055	37.237	35.264	1991	8.393	46.093	41.418
1981	9.103	33.546	31.125	1992	8.357	47.482	42.801
1982	8.716	31.721	29.895	1993	8.818	46.392	40.612
1983	8.374	32.617	30.178	1994	9.465	52.027	45.552
1984	9.228	36.826	33.571	1995	9.736	50.196	43.619
1985	9.448	37.013	33.803	1996	9.121	46.496	39.640
1986	9.623	37.116	33.731	1997	9.146	53.159	45.283
1987	9.090	39.719	36.173	1998	9.550	55.170	47.124
1988	9.103	41.360	36.824	1999	11.138	53.485	47.990
1989	8.846	43.931	39.027	2000	9.329	54.493	48.228
1990	8.038	44.027	39.497	2001	7.447	50.733	44.759

* Fonte: Marone, 2007.

È interessante notare che i valori di autoapprovvigionamento²⁹ di alcune tipologie di assortimenti legnosi (Marone, 2007; dati 2001) risultano piuttosto bassi (paste di legno (11%), tondame da sega (17%), legname da industria (36%) e legname grezzo (56%), (*foto 10a e 10b*), mentre per altre tipologie di assortimenti, come ad esempio la legna da ardere e il carbone, l'autoapprovvigionamento raggiunge addirittura l'89%. In definitiva, bassi valori di autoapprovvigionamento indicano un deficit interno per la tipologia di prodotto esaminata e quindi la necessità di importazioni, al fine di soddisfare i fabbisogni dell'industria del legno.

L'impiego di biomasse derivate da aree forestali esterne al contesto regionale può portare a un'eccessiva pressione su risorse forestali estere, con conseguente danno ambientale potenziale dovuto al fatto che non esistono garanzie circa la produzione di assortimenti legnosi secondo criteri di sostenibi-

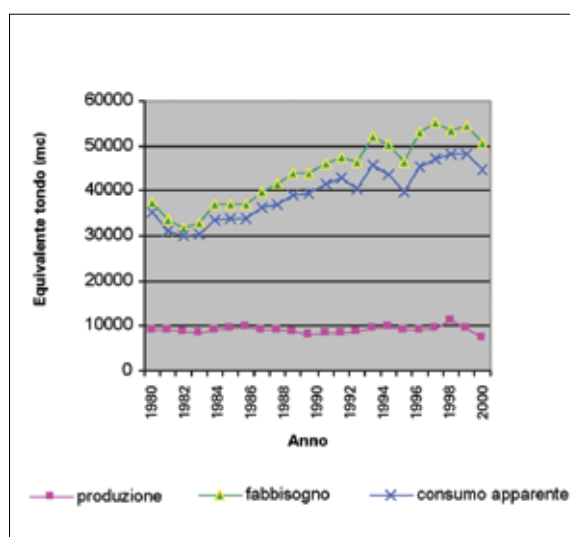


Fig. 15 - Produzione, fabbisogno e consumo apparente di legname in Italia. Fonte: Marone, 2007



10a-10b. Legname di conifere di scarsa qualità utilizzabile a fini energetici

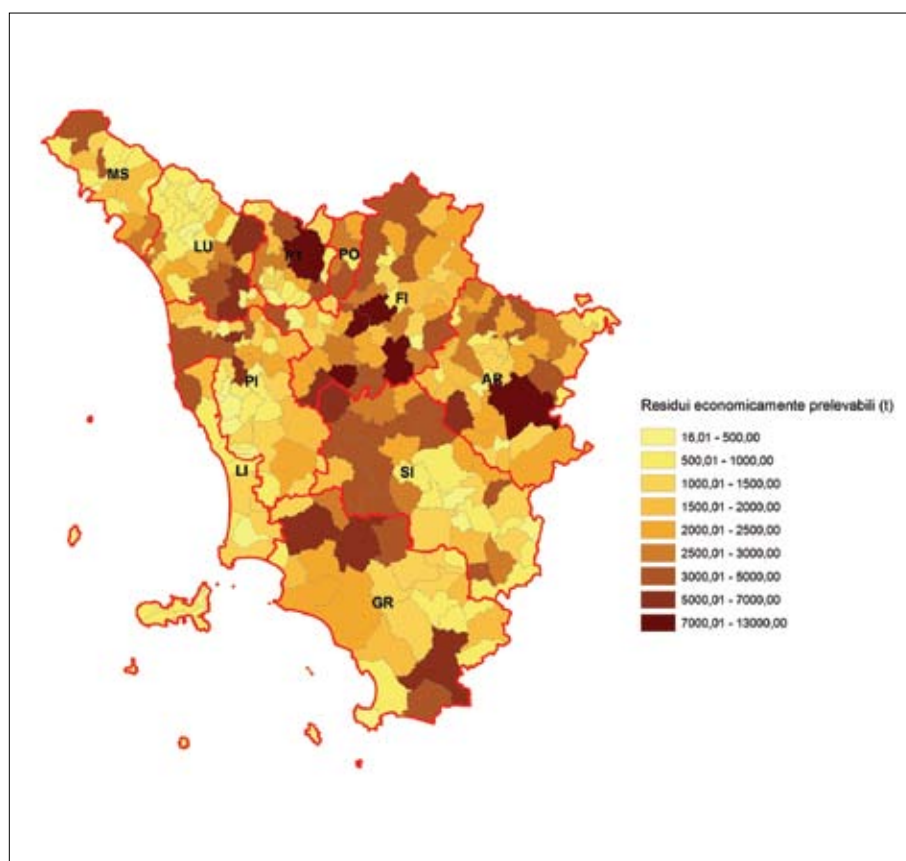


Fig. 16 - Totale dei residui legnosi provenienti da prodotti e sottoprodotti forestali a livello comunale

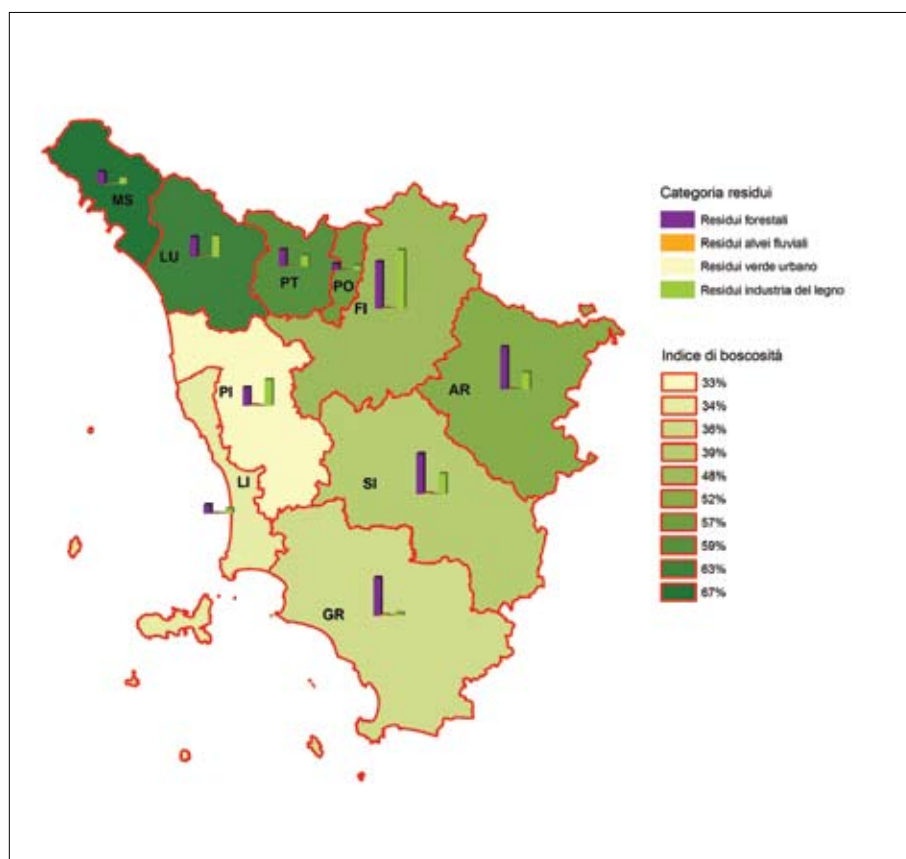
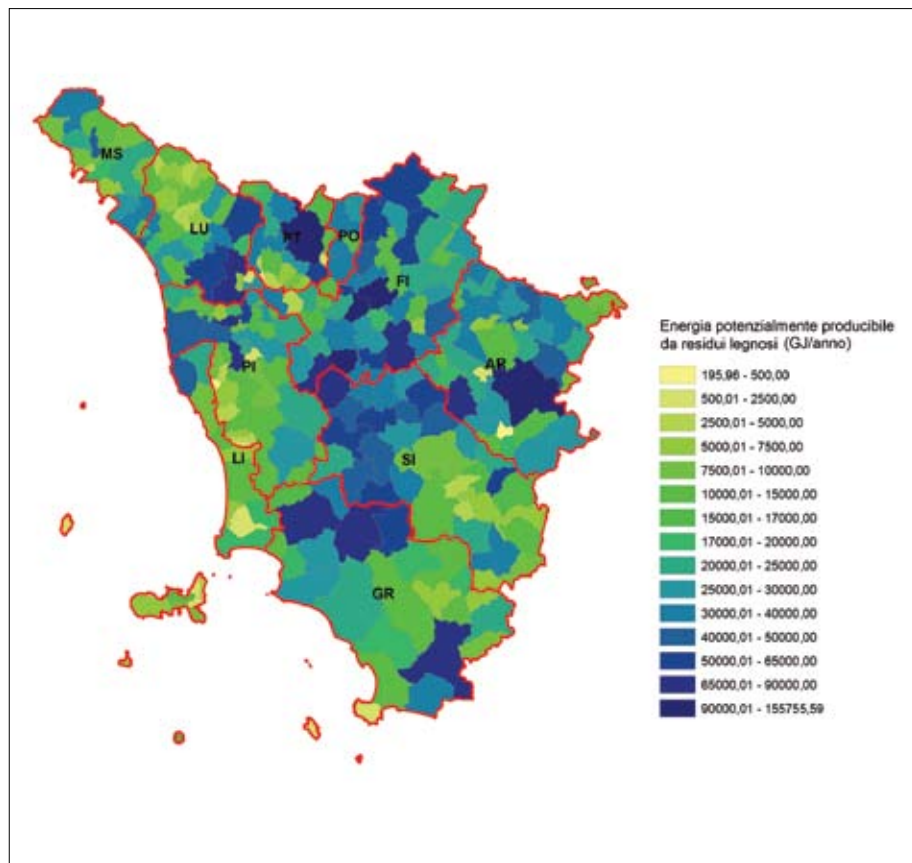


Fig. 17 - Ripartizione delle diverse categorie di residui legnosi per provincia

Fig. 18 - Energia potenzialmente producibile da residui legnosi a livello comunale (GJ/anno)



lità ambientale. Premesso che la maggior parte del legname importato proviene dai Paesi del centro-nord Europa nei quali sono ampiamente adottati standard gestionali in linea con parametri di conduzione delle risorse naturali eco-efficienti, potrebbe comunque risultare opportuno definire dei modelli di certificazione del materiale legnoso utilizzato

a scopo energetico, sia per i residui provenienti direttamente dall'estero, che per quelli derivanti da legname estero lavorato in Italia.

Nelle *figg. 16, 17 e 18* sono illustrati i risultati finali relativi ai residui totali, alla ripartizione per ambito produttivo e alla corrispondente energia potenzialmente producibile.

3. Considerazioni conclusive

Enrico Bonari

Direttore del CRIBE - Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia

La ricerca di fonti energetiche alternative ai combustibili fossili rappresenta ormai uno dei principali obiettivi delle politiche nazionali di molti Paesi industrializzati. L'esigenza di svincolarsi dalla dipendenza energetica dei combustibili fossili spinge i Governi a promuovere strumenti finanziari che favoriscano l'uso di risorse rinnovabili.

È per questo che negli ultimi anni si sono delineati e attuati, a livello nazionale e regionale, molteplici strumenti di finanziamento per lo sviluppo delle risorse energetiche di origine agroforestale; basti pensare ai decreti attuativi delle ultime Leggi finanziarie, all'introduzione di certificati verdi agricoli, ai finanziamenti previsti dal Ministero dell'Ambiente per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti dal Protocollo di Kyoto.

Si tratta, però, di strumenti che esigono un'attenta valutazione delle potenzialità territoriali, sia nazionali che regionali, circa le capacità produttive di risorse energetiche agroforestali utilizzabili secondo criteri di sostenibilità ambientale.

In quest'ottica si è quindi sviluppato il presente studio, con lo scopo di valutare le potenzialità di sviluppo della filiera biomassa-energia nel territorio toscano, sia relativamente alla componente agricola che forestale. Si tratta, infatti, di informazioni indispensabili per l'attuazione di qualsiasi strumento di finanziamento del settore e per una corretta pianificazione a livello territoriale del settore agroenergetico. Nello specifico, lo studio ha esaminato le potenzialità produttive regionali di biomasse realizzabili dal settore forestale e agricolo, facendo riferimento agli anni 2007 e 2013.

Relativamente al settore forestale, lo studio è stato condotto attraverso modelli di analisi territoriale fondati sulla teoria delle risorse rinnovabili e sulla teoria della localizzazione. Si tratta di modelli già applicati in precedenti esperienze (Bernetti & Fagarazzi, 2003), ma che in questo caso sono stati ulteriormente implementati con algoritmi capaci

di stimare l'offerta locale annua, con un dettaglio decisamente superiore (di circa mezzo ettaro) e introducendo, in particolare, un aspetto rilevante della stima, valutando – per il complesso forestale regionale – sia l'offerta ecologicamente sostenibile, sia quella economicamente sostenibile. Ovvero: da un lato l'offerta potenziale generata da tutte le superfici forestali della regione, stimata sulla base delle curve di accrescimento dei diversi soprassuoli forestali; e, dall'altro lato, l'offerta generata dalle sole superfici a macchiatico positivo.

Per procedere in questo senso, è stato necessario introdurre nell'iter della valutazione anche modelli in grado di operare la spazializzazione dei costi variabili che, in ragione delle caratteristiche geomorfologiche locali e delle caratteristiche dei soprassuoli, fossero in grado di definire i costi totali di produzione e i relativi ricavi. Ciò ha portato alla quantificazione, a livello locale, dei diversi assortimenti prodotti dalle aree forestali e alla verifica delle potenzialità di sviluppo di eventuali filiere agroenergetiche, sia in termini di dimensioni, che di localizzazione. Inoltre, è stato possibile anche verificare l'influenza che lo sviluppo di linee produttive nuove, legate alla produzione di biomasse legnose semilavorate (cippato di legno), potrebbero avere nei confronti dell'attuale organizzazione produttiva (legname e materiali di assortimenti vari), soprattutto per quanto riguarda l'organizzazione dei cantieri forestali e le previsioni di sfruttamento di nuove aree boscate attualmente inutilizzate.

Il lavoro, inoltre, ha stimato le prevedibili produzioni di biomasse generate da formazioni riparie, da impianti di arboricoltura da legno realizzati con il Regolamento CE 2080/92 e dalle potature delle componenti arboree del verde urbano, unitamente alla produzione di residui derivati dall'industria del legno toscana; il tutto ha portato alla stima definitiva dell'offerta complessiva di biomasse forestali regionali.

Sulla base dei risultati emersi, le stime dei residui forestali dei boschi regionali, valutate rispetto allo scenario “ecologico” (con produzione integrata di assortimenti tradizionali e residui da destinarsi al settore energetico), mettono in evidenza potenzialità produttive di circa 670.000 tonnellate annue di biomassa che, unite ai residui dell’industria del legno e a quelli derivati dalle manutenzioni degli alvei fluviali e del verde urbano, portano ad una produttività potenziale ecologica di quasi 900.000 tonnellate annue. L’introduzione delle variabili economiche riduce però sensibilmente le disponibilità delle aree forestali che si fermano ad appena 320.000 tonnellate annue, mentre rimangono praticamente invariate le altre fonti. La discreta differenza di potenzialità produttiva stimata tra la valutazione ecologica e quella economica è legata sia alle difficili condizioni stazionali in cui si trovano i nostri soprassuoli forestali, sia alla scarsa disponibilità (in alcune aree), di una efficiente rete di viabilità forestale ed extra-forestale. In sintesi, appare evidente, infatti, come la strutturazione di una filiera forestale-legno energia economicamente efficiente, non possa prescindere dallo sviluppo di un’adeguata rete di piattaforme logistiche e commerciali dei combustibili legnosi.

Relativamente ai comparti agricolo e agroindustriale, la stima della biomassa disponibile al 2013 si è basata sulla determinazione dei livelli dei residui e dei reflui potenzialmente disponibili sulla base dei dati sulle colture e sulle produzioni agricole, sulla consistenza degli allevamenti in produzione zootecnica e sulla dimensione delle imprese di trasformazione che insistevano sul territorio regionale nel 2007. Per quanto attiene al settore agricolo, l’approccio adottato ha tenuto conto, oltre che dei livelli produttivi delle principali colture erbacee e legnose agrarie rilevate dalla statistica ufficiale, anche della più recente dinamica della SAU; ciò al fine di rilevare per quanto possibile in questa sede un quadro conoscitivo più completo circa lo “stato di salute” dell’agricoltura regionale e di captare eventuali elementi utili allo sviluppo di una “ipotesi di scenario” produttivo che tenesse conto del possibile inserimento nei vari ordinamenti colturali delle principali colture dedicate per la produzione di biocarburanti e di biomasse lignocellulosiche.

In particolare, l’effettiva possibilità di diffusione delle colture utilizzabili è stata valutata anche attraverso lo studio della vocazionalità dei diversi areali agricoli, avvalendosi di tecniche di analisi spaziale e metodi geostatistici che hanno permesso di caratterizzare, in primo luogo, le superfici più facilmente convertibili alla loro coltivazione in rapporto alla tipologia dei suoli e al clima. Lo scenario di produ-

zione al 2013 è stato poi sviluppato ipotizzando — nel breve periodo — una soglia massima di sviluppo del settore agrienergetico tenendo conto, da un lato, dell’attuale assetto produttivo del settore agricolo nei diversi comprensori e, dall’altro lato, degli effetti prodotti nel recente passato dal Reg. CE 2078/80 (e quindi dell’abbandono di una quota non trascurabile dei seminativi), oltre che: dell’organizzazione fondiaria oggi in essere, dell’elevato valore paesaggistico di molte aree rurali del territorio regionale e, soprattutto, delle regole agronomiche (rotazioni, sistema colturale ecc.) da noi ritenute imprescindibili, anche nell’ambito delle agrienergie, per lo sviluppo di modelli di agricoltura sostenibile.

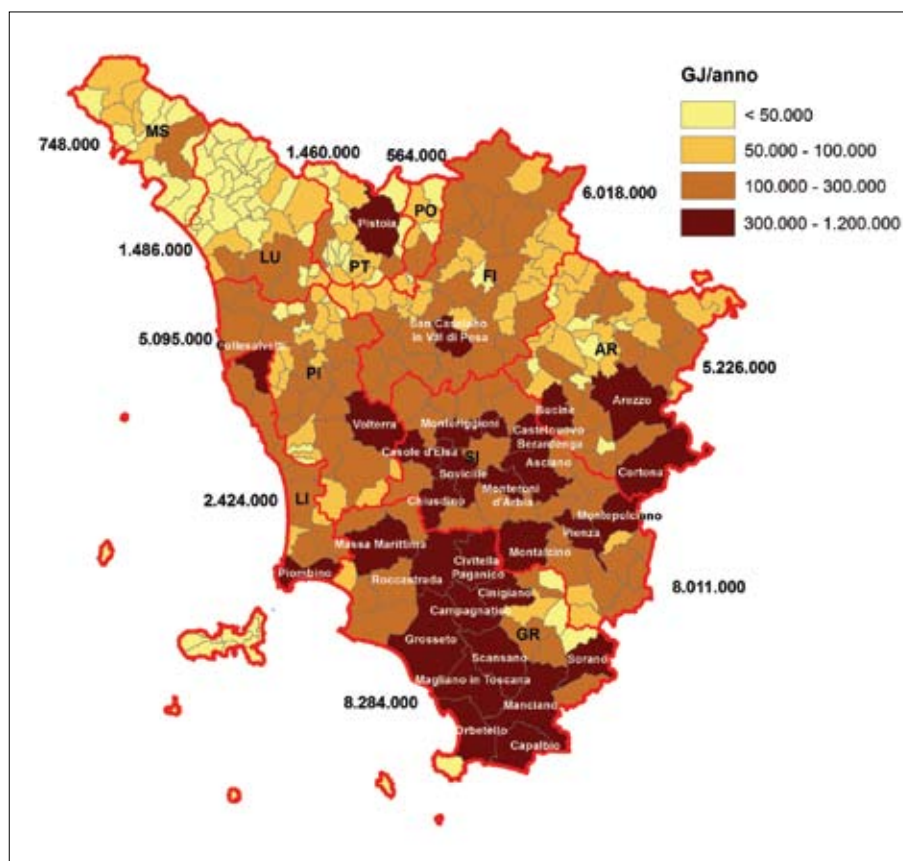
Riassumendo i risultati dell’analisi di scenario realizzata secondo lo schema e le metodologie riportate nei capitoli precedenti, è possibile osservare che il recupero del 75% dei residui agricoli legnosi disponibili sul territorio e del 20% dei residui erbacei, insieme allo sfruttamento del 10% dei seminativi (corrispondente alla quota di superficie del vecchio *set-aside*), con pendenza inferiore al 15%, per l’introduzione di colture dedicate di vario genere, consentirebbe di disporre annualmente di poco più di 1.000.000 di t di s.s. di biomassa lignocellulosica da destinare principalmente alla combustione, per un valore energetico lordo stimato intorno a 19.600.000 GJ. Le sole colture dedicate potrebbero infatti fornire a regime una produzione di circa 775.000 t s.s./anno.

Di contro, i circa 2.000.000 t di reflui zootecnici prodotti ogni anno in Toscana potrebbero produrre biogas per un valore energetico pari a 665.000 GJ, che potrebbero salire a 1.000.000 GJ circa se integrati con il biogas prodotto da residui agricoli fermentescibili e dai reflui agroindustriali dei settori lattiero-caseario, del vino e della macellazione. Infine le 22.000 t di sanse esauste residue della filiera dell’olio toscano, potrebbero apportare ogni anno ulteriori 350.000 GJ.

Parallelamente, sfruttando al massimo il 18% dei seminativi sostanzialmente pianeggianti (cioè circa il 20% di tutti i seminativi più facilmente meccanizzabili che resterebbero disponibili dopo aver destinato il 10% degli stessi alle colture da biomassa lignocellulosica), i biocarburanti producibili a livello regionale potrebbero fornire al settore dei trasporti un contributo energetico pari a circa 3.200.000 GJ/anno, considerando le produzioni stimate di circa 43.000 t/anno di biodiesel da girasole e colza e le circa 59.000 t/anno di bioetanolo, ottenibile principalmente dal mais.

Considerando la distribuzione territoriale del potenziale agrienergetico totale, esprimibile a livello regionale, sia dal comparto agricolo che da

Fig. 1 - Potenziale agrienergetico dei comuni toscani (somma dei comparti agricolo e forestale)



quello forestale, è possibile evincere che i “bacini” più importanti in termini di approvvigionamento, potrebbero essere costituiti da alcuni areali delle province di Grosseto, Siena, Firenze, Arezzo e Pisa (*fig. 1*); e ciò non solo per la maggiore apparente disponibilità di superfici agricole, ma anche per la più facile accessibilità delle aree boschive complessivamente coinvolte.

È indubbio che l'entità e la distribuzione spaziale della disponibilità potenziale delle varie tipologie di biomassa a destinazione energetica permettono di definire alcuni interessanti margini di sviluppo del settore, prospettandone senz'altro un ruolo significativo nel sistema energetico regionale. Ciò anche se, al riguardo, non si può non tenere in considerazione che le effettive opportunità di utilizzo delle biomasse disponibili sono per lo più determinate, oltre che dalla consistenza dell'approvvigionamento potenziale, anche dalla complessità dei sistemi produttivi locali e della relativa logistica, dall'ubicazione delle fonti di reperimento rispetto a quelle di possibile utilizzazione e dal basso contenuto energetico dell'unità di peso della biomassa, che ne rendono problematica l'efficienza del processo se destinate alla produzione di energia elettrica.

Del resto, l'evoluzione del comparto agricolo della Toscana sulla base delle statistiche annuali

dell'ISTAT evidenzia come — a partire dal 2004 — si sia registrata una progressiva e significativa riduzione della SAU regionale, dovuta principalmente ad un sensibile calo delle superfici destinate al frumento duro e al mais, solo in parte compensato dagli incrementi delle colture ortive di piena area e delle colture industriali. Anche tra le colture legnose agrarie è stata osservata una riduzione delle superfici ad olivo, in parte compensata dal progressivo sviluppo del settore vitivinicolo, registrata principalmente nelle province di Siena e Grosseto. Anche l'analisi incrociata dei dati ISTAT e dei dati Aprozoo sugli allevamenti zootecnici ha confermato sintomi non trascurabili di una crisi che riguarda soprattutto l'allevamento bovino.

È evidente che, nell'ambito di una crisi di competitività dell'agricoltura regionale per la produzione di commodities, se da un lato la maggior parte del settore primario sta sempre più decisamente puntando verso produzioni tipiche e di qualità, una parte del comparto sta cercando di capire se le agrienergie possono effettivamente costituire un'alternativa credibile nel medio-lungo periodo e percorribile anche sotto il profilo economico. I recenti aggiornamenti delle tariffe e dei criteri di incentivazione, sembrano permettere senz'altro un percorso di sviluppo del settore basato principal-

mente sul modello della filiera breve (per qualunque produzione energetica) e sulla costruzione di un sistema di micro cogenerazione diffusa e/o di tri-generazione adeguatamente integrato sul territorio e complementare rispetto alle altre fonti di energia rinnovabile.

Sicuramente trattasi di una prospettiva di sviluppo interessante, sia dal punto di vista dell'imprenditoria agricola singola e associata che sotto il profilo complessivo dell'economia delle aree rurali della Toscana, da sempre basata sulla valorizzazione delle proprie peculiarità ambientali e paesaggistiche. Complessivamente, nella nostra Regione, le biomasse agroforestali a destinazione energetica (residuali e da colture dedicate) potrebbero apportare annualmente circa 39.000.000 GJ, 24.000.000 dei quali dal comparto agricolo e 15.000.000 dal comparto forestale, che, ipotizzando la conversione delle biomasse in piccoli impianti di cogenerazione, potrebbero essere tradotti in 300 MWe di potenze installabili.

In sintesi, a nostro avviso, se adeguatamente indirizzate e integrate con il complesso degli indirizzi produttivi tipici dei differenti territori, le "agrienergie" potrebbero in effetti costituire per l'agricoltura regionale un'opportunità non indifferente per un recupero di produttività e di professionalità nell'intero sistema agroforestale. Recupero che può indubbiamente risultare di volta in volta coniugabile in maniera diversa in funzione delle effettive vocazionalità delle aree (o indirizzato alla riduzione dei costi di produzione e all'incremento del reddito lordo a livello aziendale, o per promuovere lo sfrut-

tamento di superfici agricole abbandonate, o per agevolare la ripresa di una adeguata "coltivazione" delle aree forestali, o per consentire la valorizzazione di reflui agrozootecnici e agroindustriali — spesso da smaltire comunque — e dei residui agricoli e forestali finora inutilizzati, o per promuovere la stabilizzazione di una parte del lavoro avventizio ecc.), ma che in ogni caso può accrescere le opportunità per il raggiungimento di un adeguato livello di sostenibilità complessiva delle attività primarie e consolidare così il ruolo di presidio del territorio e del paesaggio agrario storicamente occupato dagli operatori agricoli toscani.

È nostra convinzione che, in Toscana, i percorsi di valorizzazione sostenibile delle "agrienergie" non possano che rivolgersi prioritariamente all'attivazione di filiere corte, per impianti di cogenerazione (e tri-) di media e piccola taglia, il più possibile diffusi sul territorio e tecnologicamente concepiti a gestione "agricola", sia per la produzione di energia che per la produzione di pellets, prevedendo una introduzione delle colture dedicate (entità, specie, rotazione ecc.) la più adeguata (per la valorizzazione delle biomasse residuali già disponibili) e integrata possibile (varie filiere) negli ordinamenti produttivi tipici delle nostre aree rurali (ad esempio, minimo impatto paesaggistico); infine, nelle aree agricole particolarmente "vocate" può considerarsi prioritaria anche la produzione di biomasse di qualità superiore (da raccogliere e da lavorare soprattutto in ambito agricolo) da destinarsi anche alla "co-alimentazione" di centrali di più grandi dimensioni.

Bibliografia

- AA.VV. (2002) - *Modello per lo studio di fattibilità e per la gestione di un distretto energetico basato sull'impiego di cippato*. Regione Piemonte.
- AA.VV. (2004) - *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*. Quaderno ARSIA 6/2004, ARSIA, Regione Toscana.
- AA.VV. (2006a) - *Energia dalle biomasse - Le tecnologie, l'impiego nei processi produttivi, i valori economici e ambientali*. Consorzio per l'Area di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste.
- AA.VV. (2006b) - *Rapporto energia e ambiente*. ENEA.
- AA.VV. (2006c) - *Woodland energy. La filiera legno-energia come strumento di valorizzazione delle biomasse legnose agroforestali*. Programma PROBIO-MIPAAF, ARSIA.
- AA.VV. (2007a) - *I biocarburanti: le filiere produttive, le tecnologie, i vantaggi ambientali e le prospettive di diffusione*. Consorzio per l'Area di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste.
- AA.VV. (2007b) - *IX Rapporto sull'economia e le politiche rurali in Toscana*. ARSIA, IRPET, Regione Toscana.
- AA.VV. (2007c) - *Tecnico e Pratico*. Sherwood, nn. 31, 34, 39.
- ANPA/ONR (1999) - *Primo rapporto sui rifiuti speciali - settore agroalimentare*.
- ANPA/ONR (2001) - *I rifiuti del comparto agroalimentare - Studio di settore*. Rapporto 11/2001.
- APROZOO (2006) - *Gli allevamenti a Grosseto*.
<http://www.aprozoo.com/notizie.asp>
- BERNETTI I. (1998) - *Il mercato delle biomasse forestali per scopi energetici: un modello di offerta*. Rivista di Economia Agraria, anno 1998, 53 (3): 363-393.
- BERNETTI I., CASINI L., FRATINI R., MARINELLI A., ROMANO D., ROMANO S. (1993) - *Il sistema foresta-legno in Toscana*, INEA-ETSAF.
- BERNETTI I., FAGARAZZI C. (2003) - *BIOSIT: una metodologia GIS per lo sfruttamento efficiente e sostenibile della "risorsa biomassa" a fini energetici*. DE, DEART, ETA.
- BERNETTI I., FAGARAZZI C. (2008) - *Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area dell'Appennino Pistoiese*, Centro Editoriale Toscano, Firenze.
- BERNETTI I., ROMANO S. (a cura) (2007) - *Economia delle risorse forestali*. Liguori editore, Napoli.
- BONARI E. ET AL. (2007) - *Analisi territoriale per l'individuazione delle zone a più elevata vocazione per la produzione di biomassa a destinazione energetica e stima potenziale della stessa in alcuni areali dell'Italia Centro occidentale*. Report ENEL 2007.
- BONARI E. ET AL. (2007) - *Progetto pilota sull'impiego di biomasse a fini energetici*. Report CCIAA Grosseto.
- BURESTI E., MORI P. (2003) - *Progettazione e realizzazione di impianti di Arboricoltura da Legno*. ARSIA, Regione Toscana.
- BURESTI E., MORI P. (2004) - *Conduzione e valutazione degli impianti di Arboricoltura da Legno*. ARSIA, Regione Toscana.
- CESANO D., GUIDI D. (2006) - *Opportunità di sviluppo della filiera bosco-legno-energia nel territorio del Mugello*. Ecosoluzioni.
- DASGUPTA P. (1982) - *Control of resources*. Harvard University Press, Cambridge, MA. U.S. Development, Environmental Values, 6 (2): 213-233.
- DI BLASI C., TANZI V., LANZETTA M. (1997) - *A study on the production of agricultural residues in Italy*. Biomass and Bioenergy, 2 (5): 321-331.
- ENEL (2007) - *Stima delle potenzialità di produzione di biomasse nell'Italia centro occidentale*. Report.
- EUROPEAN ECONOMIC AREA (2006) - *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?*. EEA Report 7.
- HELLRIG B. (2001) - *Numeri per la dendroenergetica*. Ed. provvisoria. Vedi: <http://www.tesaf.unipd.it/pettedella/papers/AltraDocumentazione/numeri.pdf>
- HIPPOLITI G., PIEGAI F. (2000) - *La raccolta del legno, tecniche e sistemi di lavoro*. Compagnia delle Foreste.
- IBIMET - CNR (2004) - *I progressi sull'individuazione degli indici climatici in Toscana*. INTERREG IIIB - DESERT-NET, Bologna.
- ISMEA, *Monitoraggio dei prezzi alla produzione e delle tendenze di mercato dei prodotti agroalimentari*
<http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/27>
- ISTAT (2000) - *V Censimento generale dell'Agricoltura*.
<http://www.census.istat.it/wibdsi/default.asp>
- ISTAT (2001) - *Censimento dell'industria e dei servizi*.

- ISTAT - *Dati annuali sulle coltivazioni*.
<http://www.istat.it/agricoltura/datiagri/coltivazioni>
- MARONE E. (2007) - *Il sistema foresta-legno-mobili*. In BERNETTI I., ROMANO S. (a cura) - *Economia delle risorse forestali*. Liguori editore, Napoli.
- NEWMAN D.H. (1988) - *The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography*. General Technical Report n. SE-48, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville.
- NOCENTINI G., FRANCESCATO V., STRANIERI S. (2007) - *Le minireti di teleriscaldamento a cippato in Toscana. L'esperienza dei GAL toscani*. ARSIA Regione Toscana.
- PEARCE D.W., TURNER R.K. (1989) - *Economics of natural resources and the environment*. Hemel Hempstead, Harvester and Wheatsheaf.
- PELLERANO A., PANTALEO A., TENERELLI P., CARONE M.T. (2006) - *Produzione di energia dai residui della filiera olivicola in Puglia: potenzialità e scenari di valorizzazione energetica*. Relazione conclusiva, PRIN.
- PICCININI S. (2006) - *La digestione anaerobica di effluenti zootecnici, colture energetiche e scarti agroindustriali: situazione e prospettive*. Ecomondo.
- PICCININI S. (2008) - *Biogas: situazione e prospettive*. Seminario, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa.
- RAGAGLINI G., VILLANI R., GUIDI W., BONARI E. (2008) - *Bioenergy production assessment at regional level under different scenarios of resources exploitation*. Aspects of Applied Biology, Biomass and Energy Crops, III: 109-118.
- REED W.J. (1986) - *Optimal harvesting models in forest management: a survey*. Natural Resource Modelling, 1 (1): 55-79.
- REGIONE TOSCANA, ARSIA (2007) - *Rapporto sullo stato delle foreste in Toscana 2006*. Compagnia delle Foreste, Arezzo.
- ROSSI L., PICCININI S. (2007) - *Sottoprodotti agroindustriali, un potenziale da sfruttare*. L'informatore agrario, n. 34.
- SIMS R.E.H., HASTINGS A., SCHLAMADINGER B., TAYLOR G., SMITH P. (2006) - *Energy crops: current status and future prospects*. Global Change Biology, 12, (11), 2054-2076.
- SPINELLI R., MAGAGNOTTI N. (2007) - *Protezione idraulica, ambiente e biomassa: un approccio integrato alla manutenzione degli alvei fluviali, PSL - Sibilla: Progetto pilota per la valorizzazione integrata delle fonti energetiche rinnovabili del territorio*.
- VILLANI R., PICCIONI E., RAGAGLINI R., SABBATINI T., BONARI E. (2007) - *GIS-based land suitability evaluation for bioenergy chains: a multidisciplinary approach applied to Mediterranean regions*. Atti della 15^a Conferenza Europea sulle Biomasse (Berlino, maggio 2007).
- D.L. n. 152/1999 - *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, a seguito delle disposizioni correttive e integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258*. Pubblicato in G.U. n. 246 del 20 ottobre 2000 - Suppl. Ord. n. 172.
- MIPAAF - D.M. 7 aprile 2006 - *Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, di cui all'articolo 38 del decreto legislativo n. 152 del 1999 (ora articolo 112 del decreto legislativo n. 152 del 2006)* Pubblicato in G.U. n. 109 del 12 maggio 2006.
- EUROPEAN COMMISSION (2002) - *Council Decision 2002/358/EC: Council Decision of 25 April 2002 concerning the approval, on behalf of the European Community, of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfillment of commitments there under*.
- EUROPEAN COMMISSION (2005) - *Report on the Green Paper on Energy - Four years of European initiatives*.
- EUROPEAN COMMISSION (2005) - *Communication from the European Commission on the Biomass Action Plan, COM(2005) 628 final*.
- <http://scuole.provincia.so.it>
<http://www.laforestasclrl.it>

Allegati - tabelle riepilogative



Allegato 1 - Riepilogo dei risultati: Agricoltura 2007
(tabella 4 A delle Linee guida *)

4 A - AGRICOLTURA 2007				Colture (ha)					Allevamenti (UBA)				
Provincia	SAU	SAT	set aside	Protealea ginoase	Zuccherine, amidacee	Arboree	Lignocell.	Floro - vivaistiche	Ortive	Foraggiere	Altre	Totale	
Arezzo	66.103	240.388	9.080	2.550	12.700	18.826	0	642	995	12.581	0	48.294	12.673
Firenze	130.198	235.371	8.338	1.310	22.100	45.849	0	186	1063	18.900	0	89.408	11.214
Grosseto	142.353	346.693	17.625	10.100	41.240	27.780	0	662	4.629	31.300	0	115.711	24.478
Livorno	40.452	66.226	3.072	1.925	15.590	7.564	0	104	2.435	3.810	0	31.428	2.979
Lucca	28.276	79.197	1.116	233	3.622	4.365	0	628	865	1.310	0	11.023	4.312
Massa	22.852	54.093	173	0	1.522	1.989	0	15	624	3.495	0	7.645	3.045
Pisa	77.528	185.358	11.433	2.955	29.950	11.899	0	363	2.283	11.550	0	59.000	7.955
Prato	6.227	21.629	298	185	1.115	2.495	0	37	820	820	0	4.689	514
Pistoia	27.189	65.718	1.700	495	2.737	8.927	0	4.844	225	2.855	0	20.083	2.613
Siena	134.545	332.789	20.526	4.854	51.346	34.134	0	213	6662	31.411	0	128.420	10.967
Totale	675.723	1.627.461	73.363	24.407	181.922	163.828	0	7.694	19.818	118.032	0	515.701	80.750
													54.825
													45.292
													111.448
													292.315

Allegato 2 - Riepilogo dei risultati: Agricoltura 2013
(tabella 4 B delle Linee guida *)

4 - B AGRICOLTURA 2013				Colture (ha)					Allevamenti (UBA)				
Provincia	Proteoleaginoase	Zuccherine, amidacee	Arboree	Lignocellulosiche	Florovivaistiche	Ortive	Foraggiere	Altre	Totale (ha)	Bovini	Suini	Avicoli	Altri
Arezzo	4.109	11.359	18.826	7.591	642	995	12.581	0	56.103	12.673	24.048	13.571	10.252
Firenze	3.983	7.225	45.849	5.498	186	1063	18.900	0	82.704	11.214	2.687	3.756	7.527
Grosseto	29.474	8.781	27.780	19.382	662	4.629	31.300	0	122.008	24.478	7.201	2.957	47.612
Livorno	7.741	1.746	7.564	4.293	104	2.435	3.810	0	27.693	2.979	851	784	2.588
Lucca	0	2.072	4.365	901	628	865	1.310	0	10.141	4.312	712	2.218	4.362
Massa-Carrara	0	270	1.989	132	15	624	3.495	0	6.526	3.045	1.311	849	3.665
Pisa	11.338	11.642	11.899	10.549	363	2.283	11.550	0	59.624	7.955	8.256	13.316	9.771
Prato	0	1.210	2.495	576	37	37	820	0	5.176	514	84	179	898
Pistoia	0	3.332	8.927	1.190	4.844	225	2.855	0	21.373	2.613	1.511	1.217	2.213
Siena	13.524	17.984	34.134	14.609	213	6662	31.411	0	118.537	10.967	8.164	6.445	22.560
Totale	70.169	65.622	163.828	64.721	7.694	19.818	118.032	0	509.884	80.750	54.824	45.293	111.448
													292.315

* Linee guida per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

Allegato 3 - Coefficienti utilizzati nelle stime dei quantitativi di biomasse a fini energetici e dei relativi contenuti energetici

Tab. 3.1 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi dei residui delle colture erbacee e del relativo contenuto energetico			
Coltura	COEFFICIENTI UTILIZZATI		
	Quantità (kg) ¹	Umidità al recupero ¹	PCI (MJ/kg s.s.) ²
Frumento tenero	0,6 • kg di granella	15%	17,4
Frumento duro	0,7 • kg di granella	15%	17,4
Orzo	0,8 • kg di granella	15%	14,0
Avena	0,7 • kg di granella	15%	14,0
Segale	0,7 • kg di granella	15%	14,0
Mais	1,3 • kg di granella	50%	17,4
Sorgo	1,3 • kg di granella	50%	17,4

¹ ANPA/ONR (2001).
² AA.VV. (2006).

Tab. 3.2 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi dei residui delle colture ortive e leguminose e del relativo contenuto energetico				
Coltura	COEFFICIENTI UTILIZZATI			
	Quantità (kg) ¹	kg solidi volatili / kg di t.q. ²	mc biogas / kg solidi volatili ²	PCI (MJ/mc) ³
Fava	1,5 • kg di granella	0,17	0,6	23,3
Fagiolo	1,5 • kg di granella	0,17	0,6	23,3
Pisello	1,5 • kg di granella	0,17	0,6	23,3
Patata	0,4 • kg di patate	0,17	0,6	23,3
Pomodoro	0,3 • kg di pomodori	0,17	0,6	23,3

¹ ANPA/ONR (2001).
² Piccinini *et al.*, varie fonti.
³ AA.VV. (2006).

Tab. 3.3 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi dei residui delle coltivazioni arboree e del relativo contenuto energetico			
Coltura	COEFFICIENTI UTILIZZATI		
	Quantità (t) ¹	Umidità al recupero ¹	PCI (MJ/kg s.s.) ²
Vite	(0,113 • t uva + 2,001) + (ha vite • 0,8)	50%	18,2
Olivo	(0,566 • t olive) + 1,496	53%	18,6
Actinidia	(0,2 • t di frutta) + (ha actinidia • 0,8)	40%	18,2
Melo	(0,1 • t di frutta) + (ha melo • 4,25)	40%	18,2
Pero	(0,1 • t di frutta) + (ha pero • 5)	40%	18,2
Pesco	(0,2 • t di frutta) + (ha pesco • 5)	40%	18,2
Nettarina	(0,2 • t di frutta) + (ha nettarina • 5)	40%	18,2
Albicocco	(0,2 • t di frutta) + (ha albicocco • 3,33)	40%	18,2
Nocciolo	(0,2 • t di frutta) + (ha nocciolo • 2)	40%	18,2

¹ ANPA/ONR (2001).
² AA.VV. (2006).

Tab. 3.4 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi di olio prodotto dalle colture oleaginose da biodiesel e del relativo contenuto energetico

COEFFICIENTI UTILIZZATI		
Coltura	Contenuto in olio (kg) ¹	PCI (MJ/kg t.q.) ¹
Girasole	0,42 • kg di semi	36,5
Colza	0,45 • kg di semi	37,4

¹ AA.vv. (2007).

Tab. 3.5 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi di bioetanolo prodotto dalle colture alcoligene per la produzione di bioetanolo e del relativo contenuto energetico

COEFFICIENTI UTILIZZATI		
Coltura	Resa in bioetanolo ¹	PCI (MJ/kg t.q.) ¹
Frumento	0,24 • kg di granella	27
Mais	0,24 • kg di granella	27

¹ AA.vv. (2007).

Tab. 3.6 - Coefficienti utilizzati nella stima del contenuto energetico delle colture lignocellulosiche dedicate

COEFFICIENTI UTILIZZATI	
Coltura	PCI (MJ/kg t.q.) ¹
Canna comune	18
Cardo	14
Miscanto	17
Pioppo	20
Sorgo	16,5

¹ AA.vv. (2004).

Tab. 3.7 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi dei residui provenienti dall'agroindustria e del relativo contenuto energetico

COEFFICIENTI UTILIZZATI				
Sottoprodotto	Quantità (kg) ¹⁺²	kg solidi volatili / kg di t.q. ³	mc biogas / kg solidi volatili ³	PCI (MJ/mc) ³⁺⁴
Fanghi dal trattamento degli effluenti dell'attività di macellazione bovini e suini	116 kg/t di carne lavorata	0,140	0,35	23,3
Fanghi dal trattamento degli effluenti dell'attività di macellazione avicoli	12 kg/t di carne lavorata	0,085	0,35	23,3
Siero prodotto dall'industria lattiero-casearia	5.945 kg/ t di formaggio prodotto	0,055	0,75	23,3
Fanghi dal trattamento degli effluenti dell'attività di produzione del vino	0,9 kg/t di vino prodotto	0,084	0,50	23,3

¹ ANPA/ONR (1999).
² ANPA/ONR (2001).
³ Piccinini *et al.*, varie fonti.
⁴ AA.vv. (2007).

Tab. 3.8 - Coefficienti utilizzati nella stima dei quantitativi di sansa esausta prodotta e del relativo contenuto energetico

COEFFICIENTI UTILIZZATI			
Sottoprodotto	Quantità (kg) ¹⁺²	Umidità ¹	PCI (MJ/kg) ¹
Sanse esauste	0,55 • kg di sansa vergine (sansa vergine = 45,3 kg/100 kg olive lavorate)	13%	18,0

¹ Pellerano *et al.*, varie fonti.
² ANPA/ONR (1999).

Allegato 4 - Riepilogo dei risultati: Settore forestale 2007 (tabelle 1 A e 2 A delle Linee guida *)

1 A - FORESTE 2007		Superficie boscata utilizzata (ha)				
Provincia	Superficie totale (ha)	Superficie boscata (ha)	Superficie boscata utilizzabile (ha)	Legname da opera	Altro legname	Boschi misti
Arezzo	323.420	167.276	167.204	29.566	104.316	33.322
Firenze	351.337	168.021	167.694	33.691	103.711	30.292
Grosseto	450.503	160.075	160.041	17.648	131.251	11.142
Livorno	121.418	41.203	41.045	3.320	34.947	2.778
Lucca	177.373	111.150	107.087	55.653	34.021	17.413
Massa Carrara	115.512	77.871	75.977	35.133	35.227	5.617
Pisa	244.470	79.989	79.935	8.885	57.109	13.941
Pistoia	96.439	56.872	56.580	26.139	15.245	15.196
Prato	36.586	20.675	20.603	8.955	6.438	5.210
Siena	381.983	149.489	149.485	13.665	121.904	13.916
Totale	2.299.040	1.032.619	1.025.651	232.655	644.169	148.827

2 A - FORESTE 2007		Prodotti legnosi utilizzati a fini energetici (t s.s./anno)				
Provincia	da bosco		da altre superfici (verde urbano)	Materiali provenienti da alvei fluviali	da altre lavorazioni	totale (t s.s./anno)
	legna da ardere	residui				
Arezzo	251.446	116.814	86	795	21.216	390.357
Firenze	243.830	119.905	275	940	74.137	439.087
Grosseto	251.216	90.716	108	1.294	3.447	346.781
Livorno	54.045	19.764	82	314	5.279	79.485
Lucca	89.311	77.916	209	305	26.672	194.413
Massa Carrara	75.281	49.922	54	192	8.455	133.904
Pisa	124.051	49.810	106	1.056	33.529	208.551
Pistoia	48.679	41.971	134	274	13.870	104.928
Prato	17.810	16.008	44	37	5.785	39.684
Siena	237.223	86.732	106	1.327	25.963	351.350
Totale	1.392.891	669.558	1.204	6.533	218.354	2.288.540

* Linee guida per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

Allegato 6 - Riepilogo dei risultati: Settore forestale 2007
(tabelle 1 A e 2 A delle *Linee guida**; risultati derivanti dall'introduzione di variabili di natura economica, scenario produttivo n. 2)

1 A - FORESTE 2007		Superficie boscata utilizzata (ha)				
Provincia	Superficie totale (ha)	Superficie boscata (ha)	Superficie boscata utilizzabile (ha)	Legname da opera	Altro legname	Boschi misti
Arezzo	323.420	167.276	83.064	14.629	53.333	15.103
Firenze	351.337	168.021	85.005	17.172	48.075	19.759
Grosseto	450.503	160.075	76.901	10.090	63.917	2.894
Livorno	121.418	41.203	18.162	2.346	13.852	1.964
Lucca	177.373	111.150	39.409	23.086	8.056	8.267
Massa Carrara	115.512	77.871	24.752	11.546	11.281	1.925
Pisa	244.470	79.989	34.405	4.723	19.841	9.841
Pistoia	96.439	56.872	29.685	15.106	6.282	8.298
Prato	36.586	20.675	10.465	4.808	2.725	2.932
Siena	381.983	149.489	83.165	8.712	66.654	7.799
Totale	2.299.040	1.032.619	485.013	112.217	294.014	78.782
2 A - FORESTE 2007		Prodotti legnosi utilizzati a fini energetici (t/anno)				
Provincia	legna da ardere	da bosco	da altre superfici (verde urbano)	Materiali provenienti da alvei fluviali	da altre lavorazioni	totale (t/anno)
Arezzo	123.855	54.412	101	951	21.216	200.535
Firenze	120.447	59.772	328	1.100	74.137	255.784
Grosseto	133.481	48.438	130	1.578	3.447	187.075
Livorno	26.656	10.700	99	383	5.279	43.117
Lucca	23.037	25.455	252	372	26.672	75.789
Massa Carrara	24.928	15.586	66	234	8.455	49.270
Pisa	54.727	23.529	127	1.258	33.529	113.171
Pistoia	22.861	21.847	162	334	13.870	59.074
Prato	7.918	8.055	53	45	5.785	21.856
Siena	138.281	51.797	128	1.619	25.963	217.786
Totale	676.192	319.592	1.446	7.874	218.354	1.223.457

* *Linee guida* per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

Allegato 7 - Riepilogo dei risultati: Settore forestale 2013
 (tabelle 1 A e 2 A delle *Linee guida**; risultati derivanti dall'introduzione di variabili di natura economica, scenario produttivo n. 2)

1 A - FORESTE 2013		Superficie boscata utilizzata (ha)				
Provincia	Superficie totale (ha)	Superficie boscata utilizzabile (ha)	Superficie impianti Reg. CE 2080/92 (ha)	Legname da opera	Altro legname	Boschi misti
Arezzo	323.420	167.276	83.064	14.629	53.333	15.103
Firenze	351.337	168.021	85.005	17.172	48.075	19.759
Grosseto	450.503	160.075	76.901	10.090	63.917	2.894
Livorno	121.418	41.203	18.162	2.346	13.852	1.964
Lucca	177.373	111.150	39.409	23.086	8.056	8.267
Massa Carrara	115.512	77.871	24.752	11.546	11.281	1.925
Pisa	244.470	79.989	34.405	4.723	19.841	9.841
Pistoia	96.439	56.872	29.685	15.106	6.282	8.298
Prato	36.586	20.675	10.465	4.808	2.725	2.932
Siena	381.983	149.489	83.165	8.712	66.654	7.799
Totale	2.299.040	1.032.619	485.013	112.217	294.014	78.782
2 A - FORESTE 2013		Prodotti legnosi utilizzati a fini energetici (t/anno)				
Provincia	da bosco	da impianti Reg. CE 2080/92	da altre superfici (verde urbano)	Materiali provenienti da alvei fluviali	da altre lavorazioni	totale (t/anno)
	legna da ardere	residui				
Arezzo	123.855	54.412	645	951	21.216	201.180
Firenze	120.447	59.772	1.179	1.100	74.137	256.963
Grosseto	133.481	48.438	782	1.578	3.447	187.857
Livorno	26.656	10.700	43	383	5.279	43.161
Lucca	23.037	25.455	61	372	26.672	75.850
Massa Carrara	24.928	15.586	49	234	8.455	49.319
Pisa	54.727	23.529	651	1.258	33.529	113.822
Pistoia	22.861	21.847	64	334	13.870	59.138
Prato	7.918	8.055	7	45	5.785	21.863
Siena	138.281	51.797	2.381	1.619	25.963	220.167
Totale	676.192	319.592	5.861	7.874	218.354	1.229.318

* *Linee guida* per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

Allegato 8 - Riepilogo dei risultati al 2007

Prodotti e sottoprodotti a scopo energetico (t/anno)														
5 - A														
Provincia	paglie, stocchi (tss)	oleag (t granello)	zuccherine e amidacee (t prodotto principale)	residui potature /espianto colt. legnose agrarie (tss)	biom. da colture dedicate (tss)	residui potatura, sott. floroviv. e ortive (tss)	reflui allevam. (t tal quale/anno)	residui e sott. agroindustria (t tal quale)	residui e sott. frantoi (t s.s.)	prodotti e sott. forestali (t u=30%)				
Arezzo	25.692	6.325	27.875	30.988	0	1.181	396.227	9.348	2.898	200.535				
Firenze	54.137	2.795	66.935	76.592	0	1.652	239.914	24.651	5.347	255.784				
Grosseto	87.774	16.060	37.700	50.293	0	10.214	553.749	66.493	3.071	187.075				
Livorno	35.583	3.650	14.100	12.404	0	14.357	40.533	3.869	1.520	43.117				
Lucca	18.027	635	24.727	7.802	0	1.921	84.483	10.500	812	75.789				
Massa Carrara	5.137	0	7.666	3.031	0	1.430	74.899	1.177	218	49.270				
Pisa	79.984	6.990	43.500	20.660	0	7.707	211.804	13.034	643	113.171				
Prato	12.095	378	3.348	4.433	0	17	10.749	387	350	21.856				
Pistoia	3.353	1.056	16.678	18.950	0	528	41.646	57.580	663	59.074				
Siena	118.367	10.739	64.739	50.998	0	17.604	263.405	67.572	4.009	217.786				
Regione Toscana	440.149	48.627	307.268	276.142	0	56.611	1.917.409	254.611	19.531	1.223.457				
6 - A														
											Totale (t/anno)	t equivalente / Nm3	PCI	Contenuto energetico (GJ/anno)
												equivalente		GJ/t
Filiera biocomb. solid. (t/anno)											440.149	440.149	17	7.586.989
Prodotti /sott. agricoli erbacei (t s.s.)														
Prodotti /sott. agricoli legnosi (t s.s.)											276.142	276.142	19	5.337.277
Prodotti /sott. forestali (t u=30%)														
Residui agroindustriali (t s.s.)											1.223.457	1.223.457	12	14.975.118
Totale											19.531	19.531	18	351.553
											735.822			28.250.937
Filiera biogas (t/anno)														
Reflui zootecnici (t t.q.)											1.917.409	28.893.475	0,023	664.550
Prodotti /sott. agricoli (t s.s.)											56.611	7.430.187	0,023	170.894
Residui agroindustriali											254.611	10.761.498	0,023	247.514
Totale											2.228.631			1.082.959
Filiera biocarburanti (t/anno)														
Semi oleosi														
Colture amidacee											48.627	18.601	37	695.678
Colture zuccherine											307.268	73.744	27	1.991.094
Residui e sott. agroindustriali														
Totale											355.895			2.686.772
Totale generale														32.020.668

* *Linee guida per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MiPAAF.*

Allegato 9. - Riepilogo dei risultati al 2013
(tabelle 5 B e 6 B delle *Linee guida**; i dati del settore forestale si riferiscono ai risultati evidenziati nell'allegato 7)

Prodotti e sottoprodotti a scopo energetico (t/anno)															
5 - B	paglie, stocchi (tss)	oleag. (t granella)	zuccherine e amidacee (t prodotto principale)	residui potature /espanto colt. legnose agrarie (tss)	biom. da colture dedicate legnose (tss)	biom. da colture dedicate erbacee (tss)	residui potatura, sott. floroviv. e ortive (tss)	reflui allevam. (t tal quale/anno)	residui e sott. agroindustria (t tal quale)	residui e sott. frantoi (t s.s.)	prodotti e sott. forestali (t u=30%)				
Provincia															
Arezzo	5.060	6.119	68.767	23.241	40.018	51390	1.181	396.227	9.348	2.898	201.180				
Firenze	10.648	5.598	41.191	57.437	27.985	37058	1.652	239.914	24.651	5.347	256.963				
Grosseto	17.215	37.502	42.522	37.723	85.696	127696	10.214	553.749	66.493	3.071	187.857				
Livorno	7.117	13.389	16.769	9.303	37.382	29034	14.357	40.533	3.869	1.520	43.161				
Lucca	3.538	0	19.241	5.852	7.751	6322	1.921	84.483	10.500	812	75.850				
Massa Carrara	1.017	0	2.848	2.273	1.061	1330	1.430	74.899	1.177	218	49.319				
Pisa	14.391	19.318	105.241	15.495	53.475	74319	7.707	211.804	13.034	643	113.922				
Prato	671	0	11.907	3.325	4.653	4702	17	10.749	387	350	59.138				
Pistoia	2.416	0	26.202	14.213	11.598	1702	528	41.646	57.580	663	21.863				
Siena	23.673	18.599	127.091	38.249	89.089	84338	17.604	263.405	67.572	4.009	220.167				
Regione Toscana	85.746	100.526	461.779	207.110	358.707	417.889	56.611	1.917.409	254.611	19.531	1.229.318				
6 - B															
												Totale (t/anno)	t equivalente / Nm3 equivalente	Contenuto energetico (GJ/anno)	
Filiera biocomb. Sol. (t/anno)															
Prodotti /sott. agricoli erbacei (tss)												503.635	503.635	17	8.681.320
Prodotti /sott. agricoli legnosi (tss)												565.817	565.817	19	10.936.119
Prodotti /sott. forestali (t u=30%)												1.229.318	1.229.318	12	15.046.855
Residui agroindustriali												19.531	19.531	18	351.552
Totale												1.088.983			35.015.846
Filiera biogas (t/anno)															
Refui zootecnici (t tal quale)												1.917.409	28.893.475	0,023	664.550
Prodotti/sottoprodotti agricoli (t ss)												56.611	7.430.187	0,023	170.894
Residui agroindustriali												254.611	10.761.498	0,023	247.514
Totale												2.228.631			1.082.959
Filiera biocarburanti (t/anno)															
Semi oleosi												100.526	43.039	37	1.601.052
Culture amidacee												461.779	59.333	27	1.581.972
Culture zuccherine															
Residui e sott. agroindustriali															
Totale												937.173			3.183.024
Totale generale															39.281.829

* *Linee guida* per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

**Allegato 10 - Riepilogo dei risultati per provincia al 2013:
contenuto energetico delle filiere (GJ/anno)**

<i>Province</i>	<i>Filiera biocombustibili solidi contenuto energ. (GJ/anno)</i>	<i>Filiera biogas contenuto energ. (GJ/anno)</i>	<i>Filiera biocarburanti contenuto energ. (GJ/anno)</i>	<i>Totale (GJ/anno)</i>
Arezzo	4.716.743	149.981	333.202	5.199.926
Firenze	5.640.600	112.102	230.367	5.983.069
Grosseto	7.206.020	287.396	743.050	8.290.466
Livorno	2.077.882	61.150	270.700	2.409.732
Lucca	1.380.815	45.287	65.961	1.492.063
Massa Carrara	719.675	31.419	9.762	760.856
Pisa	4.321.785	109.344	668.451	5.099.580
Pistoia	835.410	72.003	88.822	996.235
Prato	986.201	4.153	40.810	1.031.164
Siena	7.076.716	210.123	731.896	8.018.736
Totale	35.015.848	1.082.959	3.183.021	39.281.829

Allegato 11 - Impianti a biomassa al 2007
(tabella 7 A delle *Linee guida)**

Provincia		N° impianti esistenti								
		0 - 0,1MW			0,1 - 0,5MW			0,5 - 1MW		
		n.	e	t	n.	e	t	n.	e	t
AREZZO	biomasse legnose	6		0.28	3		0.56	1		0.50
	olio vegetale puro									
FIRENZE	biomasse legnose	13		0.48	3		0.35			
	olio vegetale puro									
GROSSETO	biomasse legnose	4		0.13						
	olio vegetale puro									
LIVORNO	biomasse legnose	1		0.04						
	olio vegetale puro									
LUCCA	biomasse legnose	13		0.43				1		0.54
	olio vegetale puro									
MASSA CARRARA	biomasse legnose	2		0.05						
	olio vegetale puro									
PISA	biomasse legnose	5		0.20						
	olio vegetale puro									
PISTOIA	biomasse legnose	19		0.69						
	olio vegetale puro									
PRATO	biomasse legnose									
	olio vegetale puro									
SIENA	biomasse legnose	7		0.26	5		0.55	2		1.04
	olio vegetale puro									
Totale		70	0.00	2.56	11	0.00	1.45	4	0.00	2.08

* *Linee guida* per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

Allegato 12 - Potenziali impianti a biomassa al 2009
(tabella 7 A delle *Linee guida**; in aggiunta a quelli presenti al 2007)

Provincia	N° impianti previsti (2009)														
	0 - 0,1MW			0,1 - 0,5MW			0,5 - 1MW			1 - 3MW			3 - 10MW		
	n.	e	t	n.	e	t	n.	e	t	n.	e	t	n.	e	t
AREZZO															
biomasse legnose	1		0.07	12		2.91				3		6.63			
olio vegetale puro				1		0.39									
FIRENZE															
biomasse legnose				4		1.15	3		2.80				1	9.30	
olio vegetale puro															
GROSSETO															
biomasse legnose				3		0.57									
olio vegetale puro															
LIVORNO															
biomasse legnose	2	0.02	0.20	5		1.51				2		2.33			
olio vegetale puro															
LUCCA															
biomasse legnose				4		1.28	1		0.93	2		2.51			
olio vegetale puro															
MASSA CARRARA															
biomasse legnose													1		8.17
olio vegetale puro															
PISA															
biomasse legnose	2		0.20	3		0.83	3		2.11	2		2.88			
olio vegetale puro				1		0.50									
PISTOIA															
biomasse legnose	2		0.16	2		0.68	4		2.33	2		2.90			
olio vegetale puro															
PRATO															
biomasse legnose															
olio vegetale puro															
SIENA															
biomasse legnose	1		0.07	6		1.95	6		4.44						
olio vegetale puro															
Totale	8	0.02	0.70	41	0.00	11.76	17	0.00	12.61	11	0.00	17.26	2	9.30	8.17

* *Linee guida* per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

Allegato 13 - Potenziali impianti a biomassa al 2013**(tabella 7 B delle *Linee guida**, in aggiunta a quelli presenti al 2007 e previsti al 2009)**

Provincia		N° impianti potenziali (2013)											
		0 - 0,1MW			0,1 - 0,5MW			0,5 - 1MW			1 - 3MW		
		n.	e	t	n.	e	t	n.	e	t	n.	e	t
AREZZO	biomasse legnose				2		0.74				2		2.7
	olio vegetale puro												
FIRENZE	biomasse legnose	2		0.2	6		2.05	2		1.49	2		1.29
	olio vegetale puro												
GROSSETO	biomasse legnose				1		0.4						
	olio vegetale puro												
LIVORNO	biomasse legnose												
	olio vegetale puro												
LUCCA	biomasse legnose				1		0.22				2		2.5
	olio vegetale puro												
MASSA CARRARA	biomasse legnose				1		0.22				1		1.25
	olio vegetale puro												
PISA	biomasse legnose												
	olio vegetale puro												
PISTOIA	biomasse legnose												
	olio vegetale puro												
PRATO	biomasse legnose				1		0.348						
	olio vegetale puro												
SIENA	biomasse legnose				2		0.5						
	olio vegetale puro												
Totale		2	0.00	0.20	14	0.00	4.48	2	0.00	1.49	7	0.00	7.74

* *Linee guida* per la compilazione delle tabelle riepilogative dell'indagine sui bacini agroenergetici fornite alle Regioni e Province Autonome dal MIPAAF.

ARSIA, la comunicazione istituzionale al servizio dell'agricoltura

L'attività editoriale

L'ARSIA svolge la propria attività editoriale attraverso una specifica linea, articolata in varie collane (monografie, quaderni tecnici, atti di convegni e seminari, manuali tecnici) e provvede direttamente alla loro diffusione. L'Agenzia regionale, infatti, pubblica i risultati di studi, ricerche e sperimentazioni, realizzati dai propri tecnici o commissionati

all'esterno, con l'intento di fornire attraverso la stampa (o utilizzando gli strumenti telematici) il materiale tecnico per la divulgazione e l'aggiornamento.

L'elenco aggiornato di tutte le pubblicazioni edite dall'ARSIA è consultabile in internet all'indirizzo:

www.arsia.toscana.it/vstore

Collana Manuali ARSIA

Costruire in legno. Progetti tipo di fabbricati e annessi agricoli.

Autori vari. 1998 (I edizione).

Schede di tecnica irrigua per l'agricoltura toscana (+ CD-rom)

A. Giannini, V. Baglioni. 2000.

Il paesaggio agroforestale toscano. Strumenti per l'analisi, la gestione e la conservazione

A cura di M. Agnoletti. 2002.

Costi di produzione e redditività delle principali colture agricole toscane (+ CD-rom)

G. Franchini, A. Giannini. 2002.

Progettazione e realizzazione di impianti di arboricoltura da legno

A cura di E. Buresti e P. Mori. 2003.

Costruire in legno. Progetti tipo di fabbricati e annessi agricoli (+ Tavole planimetriche in scala + CD-rom)

Autori vari. 2003 (II edizione).

La bonifica fitosanitaria a tutela del cipresso

Autori vari. 2003.

Conduzione e valutazione degli impianti di arboricoltura da legno

A cura di E. Buresti e P. Mori. 2004.

Guida per la valorizzazione dei prodotti agroalimentari tipici. Concetti, metodi, strumenti

Autori vari. 2006.

L'allevamento della Valdarnese bianca

A cura di M. Gualtieri 2006.

I fagioli della Lucchesia

Autori vari. 2008.

Acquacoltura in Toscana. Studi e analisi di settore

Autori vari. 2008.

Guida per l'attivazione di forme collettive di vendita diretta. Esperienze, approcci e strumenti

Autori vari. 2008.

A guide to setting up collective forms of direct sales. Experiences, Approaches, Tools

Various Authors. 2009. (Edizione in lingua inglese)

Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana

Autori vari. 2009.

Finito di stampare
nel settembre 2009
da Press Service srl
a Sesto Fiorentino (FI)
per conto di
ARSIA • Regione Toscana

Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana

L'attualità e l'importanza del settore delle agrienergie nelle politiche europee, nazionali e regionali impone un momento di riflessione sulla disponibilità delle risorse agrienergetiche e sulla loro utilizzazione in un quadro di sostenibilità ambientale, dal quale è impossibile prescindere.

In questo contesto si colloca questa pubblicazione, nella quale sono contenuti i risultati finali del progetto "Bacini agro-energetici: stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana", attuato da ARSIA su indicazione della Regione Toscana con il finanziamento del Programma Biocombustibili del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

Per la realizzazione dell'indagine territoriale l'Agenzia si è avvalsa del supporto scientifico di due strutture di ricerca toscane, il Centro di Ricerca Interuniversitario in Biomasse da Energia di Pisa per la valutazione delle biomasse agricole e il Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili di Firenze per la quantificazione delle biomasse forestali e della potenzialità energetica complessiva.

Dal punto di vista metodologico, la potenzialità del settore agroforestale in termini energetici è stata stimata prendendo in esame prioritariamente la valorizzazione delle biomasse già disponibili nel territorio (residui delle produzioni agricole, delle attività forestali, della zootecnia, dell'agroindustria e della prima trasformazione del legno) e, secondariamente, la possibilità di introdurre nel territorio regionale, sempre in un quadro di sostenibilità ambientale e di salvaguardia del paesaggio toscano, colture dedicate a scopo energetico per la costruzione di tre possibili filiere energetiche: la filiera dei biocombustibili solidi, quella del biogas e quella dei biocarburanti.

La pubblicazione, rivolta alle istituzioni scientifiche, ai tecnici, alle pubbliche Amministrazioni, alle organizzazioni professionali agricole, a tutti gli operatori del comparto, fornisce un quadro aggiornato delle risorse disponibili, in un momento in cui è fondamentale, da parte di questi soggetti, conoscere le concrete possibilità di sviluppo del settore, attraverso l'acquisizione di dati e informazioni ritenute ormai indispensabili.

L'ARSIA, Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale, è l'organismo tecnico operativo e strumentale della Regione Toscana che promuove la ricerca e la sperimentazione e sviluppa azioni di sostegno alla diffusione e al trasferimento dell'innovazione nel settore agricolo, forestale e agroindustriale

(Legge Regionale 2/2009)

